



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**POTENCIÁL BIOPLYNU V ČR A MOŽNOSTI ZVÝŠENÍ
EFEKTIVITY BIOPLYNOVÝCH STANIC**

THE POTENTIAL OF BIOGAS IN THE CZECH REPUBLIC AND OPPORTUNITIES FOR INCREASING
EFFICIENCY OF BIOGAS STATIONS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Dvořák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Pavel Milčák

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Lukáš Dvořák**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Pavel Milčák**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Potenciál bioplynu v ČR a možnosti zvýšení efektivity bioplynových stanic

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V České republice došlo mezi lety 2008 – 2013 k výraznému nárůstu počtu bioplynových stanic. V současnosti je jich přes 500 s celkovým instalovaným elektrickým výkonem cca 400 MW. Prakticky většina bioplynových stanic je koncepčně řešena s kogenerační jednotkou na bázi pístového spalovacího motoru, většinou pouze s výrobou elektřiny.

Cíle bakalářské práce:

- analýza potenciálu bioplynu v ČR
- rešerše možností zvýšení efektivity BPS
- základní bilanční výpočty
- doporučení vedoucí k reálnému zvýšení efektivity BPS

Seznam doporučené literatury:

STRAKA, František a Michal DOHÁNYOS. Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]. 2., rozš. a dopl. vyd. Praha [i.e. Říčany u Prahy]: GAS, 2006, 706 s. : il. ; 25 cm. ISBN 80-7328-090-6.

SCHULZ, Heinz, Andreas KRIEG, Hans MITTERLEITNER a Barbara EDER. Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady. Ostrava: HEL, 2004, 167 s. ISBN 80-86167-21-6.

CLARK, James. Handbook of Biofuels Production. Second edition. Woodhead Publishing, 2016. ISBN 0081004559.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá analýzou potenciálu bioplynu v České republice a porovnává jednotlivé technologie pro čištění bioplynu. Dále jsou v práci provedeny bilanční výpočty, které zjišťují aktuální situaci výroby bioplynu v České republice za rok 2017. V práci jsou také zahrnuty doporučení vedoucí k zvýšení efektivity bioplynových stanic.

Klíčová slova

Bioplyn, bioplynová stanice, zušlechťování bioplynu, bilance

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with mapping of potential a biogas in the Czech Republic and compares biogas purification technologies. The balance calculations are performed in this thesis which determine the current situation biogas production in the Czech Republic in 2017. There are recommendation for increasing efficiency of biogas stations.

Key words

Biogas, biogas station, upgrading of biogas, balance

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DVOŘÁK, L. *Potenciál bioplynu v ČR a možnosti zvýšení efektivity bioplynových stanic*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Pavel Milčák.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Potenciál bioplynu v ČR a možnosti zvýšení efektivity bioplynových stanic** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Lukáš Dvořák

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Pavlu Milčákovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

OBSAH

1	ÚVOD.....	11
2	Bioplyn	12
2.1	Vznik bioplynu	12
2.1.1	Fáze vzniku bioplynu	12
2.1.2	Podmínky prostředí	13
2.2	Substráty	15
2.2.1	Rozdělení substrátu	16
2.3	Složení bioplynu	17
2.3.1	Minoritní plyny	18
2.4	Vlastnosti bioplynu	18
2.5	Bioplynové technologie	19
2.5.1	Způsob plnění	20
2.5.2	Počet pracovních fází	22
2.5.3	Konzistence substrátu.....	22
2.6	Schéma bioplynové stanice.....	23
3	Potenciál bioplynu v České republice	25
3.1	Kogenerace	25
3.2	Rešerše možnosti zvýšení efektivity BPS - Čištění bioplynu.....	27
3.2.1	Biometan	27
3.2.2	Technologie čištění bioplynu	28
3.2.3	Porovnání technologií čištění bioplynu.....	31
4	Bilanční výpočty.....	33
4.1	Výroba elektrické energie	33
4.2	Plnění soustavy zemního plynu	33
4.3	Pohon vozidel na CNG	34
4.3.1	Úspory v produkci CO ₂ při provozu automobilu	35
4.4	Celková úspora CO ₂	36
4.4.1	Úspora CO ₂ z fosilního paliva	36
4.4.2	Odstraněné CO ₂ při zušlechťování.....	36
4.5	Výroba tepla.....	37
4.6	Hodnoty přepočteny na jednotkový výkon	37
5	Doporučení vedoucí k reálnému zvýšení efektivity bioplynové stanice	39

ZÁVĚR	41
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	42
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	45
SEZNAM OBRÁZKŮ	47
SEZNAM TABULEK.....	48

1 ÚVOD

Samotný vznik bioplynu je znám téměř od nepaměti. Postupem času co lidstvo začalo více využívat různé technologie a zkoumalo různé chemické procesy v přírodě, se přišlo detailně na proces anaerobní fermentace. Proces anaerobní fermentace, jinak řečeno kvašení bez přístupu kyslíku, se začal postupně využívat pro potřeby lidstva v různých odvětvích jako je čištění odpadních vod a zemědělství. Zejména v zemědělství se bioplynové stanice v posledních letech uchytily nejvíce a to především následkem výrazné podpory státu.

V České republice došlo v letech 2008 – 2013 pomocí zákona č. 180/2005 Sb., který podporuje obnovitelné zdroje, k razantnímu nárůstu bioplynových stanic. Tyto bioplynové stanice jsou většinou koncepčně řešeny s kogenerační jednotkou. Provozovatelé stanic často využívají pouze vyrobenou elektřinu. Teplo, které je sekundárním produktem, se ve většině případů dále nevyužívá. Efektivní využívání bioplynu je v posledních letech velice diskutované téma. Bioplyn jako takový, nebo jeho vyčištěnou formu, lze používat pro řadu technologií jako je například kogenerační jednotka pro výrobu elektřiny a tepla, pohon vozidel nebo vtlačení do soustavy zemního plynu.

Jednou z možností jak zvýšit efektivitu bioplynových stanic je montáž dodatečné technologie pro získávání biometanu. Biometan je zušlechťený, jinak řečeno vyčištěný, bioplyn, který splňuje kvalitativní požadavky příslušné normy pro kvalitu zemního plynu. To znamená, že biometan lze využívat místo zemního plynu pro vtlačení do soustavy zemního plynu, pro pohon vozidel na stlačený zemní plyn tzv. CNG (compressed natural gas) a jiné použití místo zemního plynu.

Používání biometanu místo zemního plynu má pozitivní dopad na životní prostředí z důvodu úspory produkce oxidu uhličitého, který vzniká při spalování fosilních paliv. Při spalování biometanu taktéž vzniká oxid uhličitý, ale jelikož biometan pochází z obnovitelné biomasy, tak hovoříme o tzv. nulové bilanci oxidu uhličitého.

Vzhledem k zastavení státem garantovaných výkupních cen silové elektřiny vyprodukované z bioplynových stanic se již neočekává masivní výstavba nových bioplynových stanic. Při úvaze aktuální ceny silové elektřiny a opotřebení kogeneračních jednotek, si můžeme položit otázku, jakým směrem se bude vyvíjet využívání bioplynu z bioplynových stanic.

2 Bioplyn

Pojem bioplyn není v žádné literatuře přesně definován. V technické praxi se dříve užíval pojem „kalový plyn“ nebo „čistírenský plyn“, který vznikal z kalů splaškových čistíren odpadních vod. V současné době je širokou veřejností a spousty odborníky používán pojem bioplyn. Tato směs plynů je složena z metanu (CH_4), oxidu uhličitého (CO_2) a jiným stopovými plyny jako je například vodní pára, oxid uhelnatý, amoniak a sulfan. Pro bioplyn je důležitý obsah metanu. Při výrobním procesu se snažíme dosáhnout co největšího procentuálního obsahu metanu. Běžně se dosahuje 50-70 % obsahu metanu ve směsi plynů. Druhým nejvíce zastoupeným plynem je oxid uhličitý s procentuálním obsahem 30-50 %. Naopak při výrobním procesu se snažíme co nejméně vyprodukovat stopové plyny, které mají procentuální zastoupení méně než 6 %. [1][2]

2.1 Vznik bioplynu

Bioplyn vzniká látkovou výměnou metanových bakterií, která vzniká při rozkladu biomasy za přítomnosti metanových bakterií a bez přítomnosti vzduchu. Tomuto ději se říká anaerobní fermentace nebo také metanogeneze. Ke správné práci metanových bakterií je zapotřebí vlhké prostředí s ideální stálou teplotou substrátu v rozmezí $0^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}$. Nadále k dokonalému vzniku bioplynu by hodnota pH ve slabě alkaickém prostředí měla být okolo 7,5.[4]

V přírodě takto vznikají různé plyny například jako je zemní plyn, důlní plyn, skládkový plyn a nebo také plyn v trávicích trakttech přežvýkavců. Pro tuto práci se budeme zabývat vznikem bioplynu v zemědělských bioplynových stanicích, které jsou nejčastější zařízení pro výrobu bioplynu v České Republice. [3][4]

2.1.1 Fáze vzniku bioplynu

Látková výměna metanových bakterií probíhá ve čtyřech fázích:

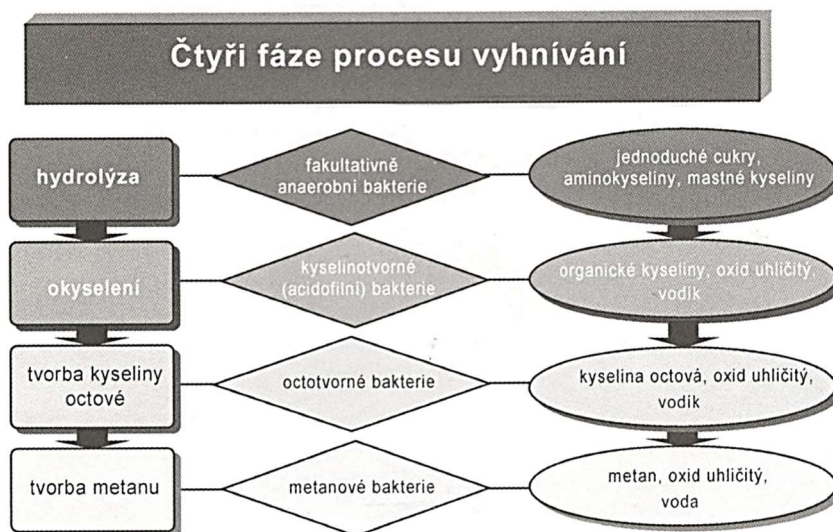
- 1) V první fázi nejsou ještě metanové bakterie zapojeny. Makromolekulární organické látky (tuky, uhlovodíky, bílkoviny a celulóza) jsou přeměňovány přítomnými anaerobními bakteriemi a pomocí enzymů na nízkomolekulární sloučeniny, jako jsou jednoduché cukry, aminokyseliny, mastné kyseliny a voda. Tento první proces vzniku bioplynu se nazývá hydrolýza a probíhá ve vlhkém vstupujícím substrátu. [3][4]
- 2) V druhé fázi přichází na řadu acidofilní bakterie, které provádí rozklad na čpavek, sirovodík, oxid uhličitý a organické kyseliny jako jsou kyselina mléčná, octová, mravenčí atd. V této fázi přítomné bakterie spotřebují veškerý kyslík. Tato anaerobní reakce se nazývá acidogeneze. [3][4]
- 3) V předposlední fázi octotvorné bakterie rozkládají organické kyseliny na acetáty, oxid uhličitý a vodík. Tato fáze, která se nazývá acetogeneze a je klíčová pro tvorbu

metanu, protože vzniklé substráty třetí fázi jsou nezbytné produkty pro tvorbu metanu. [4][5]

- 4) Poslední fází je metanogeneze. Teprve v této fázi metanové bakterie vytvářejí metan, oxid uhličitý a vodu. [5]

V běžném provozu bioplynové stanice všechny tyto čtyři procesy běží v nádrži fermentoru souběžně vedle sebe a vzájemně spolu vycházejí a vytvářejí kompromis při vytváření podmínek prostředí pro ideální proces v jednotlivých fázích. [4][6]

2.1.2 Podmínky prostředí



Obrázek 1 Fáze procesu vyhnívání [4]

Společnost zná v dnešní době přibližně deset druhů metanových bakterií, které vyžadují různé typy péče, avšak všechny potřebují podobné životní podmínky. [4]

- 1) Vlhké prostředí – metanové bakterie nejsou schopné pracovat a množit se v pevném substrátu. Proto pro správné fungování bioplynové stanice musí být substrát vlhký až mokrá a má dosahovat alespoň 50 % vody. [4]
- 2) Zabránění přístupu vzduchu – jak již bylo řečeno, metanové bakterie jsou anaerobní bakterie. To znamená, že metanové bakterie pracují a množí se pouze v prostředí bez vzduchu. Je-li ve vstupním substrátu vzduch, musejí ho prvně spotřebovat aerobní bakterie. Tento proces spotřebování kyslíku se děje v první fázi vzniku bioplynu. [4]
- 3) Zabránění přístupu světla – probíhá-li proces vzniku bioplynu za přítomnosti světla, není to žádný problém. Avšak zabránění-li se přístupu světla, tak proces vzniku bioplynu bude o poznání větší. [4]
- 4) Stálá teplota substrátu – teplota substrátu je důležitá podmínka pro vznik ideálního množství bioplynu s ideálním podílem metanu. Metanové bakterie pracují při teplotě mezi 0°C a 70°C. Některé kmeny mohou žít až při teplotě 90°C. Při překročení těchto hranic bakterie hynou. Klesne-li teplota substrátu pod bod mrazu, tak metanové

bakterie omezí svoji činnost a pouze přežívají. Rychlost procesu vyhnívání je na teplotě silně závislá. V podstatě lze říci, čím vyšší je teplota substrátu, tím rychleji nastává rozklad substrátu a tím vyšší je produkce bioplynu a tím kratší je doba vyhnívání a tím nižší je obsah metanu v bioplynu. Čím vyšší je teplota, tím jsou bakterie citlivější na teplotní výkyvy. [4]

V praxi se ukázali tři typické teplotní oblasti, které prospívají jednotlivým bakteriálním kmenům:

- **Psychrofilní kmeny** – teplota pro tyto kmeny se pohybuje pod 20 °C. Při takových teplotách odpadá ohřívání substrátu. Pro tyto kmeny je typické, že rozklad a produkce bioplynu je malá. [4][6]
- **Mezofilní kmeny** – teplota pro mezofilní kmeny se pohybuje od 25 °C do 35 °C. Teplotní výkyvy v této oblasti by měli být v rozmezí 2 °C až 3 °C kolem dlouhodobé střední hodnoty teploty substrátu. V této oblasti se nachází nejvíce známých metanových bakterií. Zařízení, která pracují s těmito kmeny, dosahují vysokého výtěžku plynu i dobré pracovní stability. [4][6]
- **Termofilní kmeny** – teplota pro termofilní kmeny se pohybuje nad 45 °C. Teplotní výkyvy pro tyto kmeny by neměli být větší jak 1 °C kolem dlouhodobé střední hodnoty substrátu. Bakterie jsou schopné se přizpůsobit nové teplotní úrovni asi za 1 měsíc. Termofilní kmeny se také používají pro hygienizaci substrátu, kdy mají být zničeny v substrátu zdravý škodlivé zárodky. Díky vyšší teplotě, při které probíhá proces, je také vyšší výtěžek bioplynu. [4][6]

Při použití mezofilních a termofilních kmenů je potřeba pomyslet na vyšší energetickou náročnost pro vytápění fermentačního procesu, proto se tyto kmeny používají v bioplynových stanicích, které využívají kogeneračních jednotek a tak jsou schopny vyhřívat fermentory pomocí zbytkového tepla. [4][6]

- 5) Hodnota pH – hodnota pH by ve slabě alkalickém prostředí měla pohybovat okolo 7,5. U kejdy a hnoje tento stav nastává většinou samovolně ve druhé fázi vyhnívajícího procesu vlivem tvorby amoniaku. U kyselých substrátů, jako jsou výpalky, syrovátka a siláž bývá zapotřebí přidat vápno, aby se hodnota pH zvýšila. [4]
- 6) Přísun živin – procesy ve fermentoru lze porovnat s těmi, které probíhají v trávicím traktu přežvýkavců. Proto bakterie reagují přesně tak negativně, jako zvířata na chyby v krmení. S použitými substráty se má vyrobit co možná nejvíce metanu, proto je důležité zajistit přesný přísun potřebných živin. Metanové bakterie nemohou rozkládat tuky, bílkoviny, uhlohydráty (škrob, cukr) a celulózu v čisté formě. Pro svou buněčnou stavbu potřebují rozpustné dusíkaté sloučeniny, minerální látky a stopové prvky jako je železo, nikl, kobalt, selen, molybden a wolfram. Kolik metanu se nakonec dá z použitých substrátů získat, je určeno podíly proteinů, tuků a uhlohydrátů. Abychom bakterie dostatečně zásobovali živinami, měl by být poměr

C:N:P:S = 600:15:5:1. [4][6]

- 7) Velké kontaktní plochy – organické látky nerozpustné ve vodě musejí být buď rozdrobeny (například tukové přídavky) nebo strukturovány tak, aby vznikly velké dotykové plochy. Materiál jako slámu, slouhou trávu nebo bioodpad je nutno rozsekát, pokud možno na vlákna, protože jinak vyhnívají velmi dlouho a vytvářejí kalový strop (plovoucí příkrov). [4]
- 8) Inhibitory – inhibující látky mohou vyhnívající proces brzdit, nebo při vyšších koncentracích úplně zastavit. Mezi inhibitory patří různé organické kyseliny, antibiotika, chemoterapeutika, desinfekční prostředky nebo i herbicidy. [4][6]
- 9) Zatížení vyhnívajícího procesu – zatížení vyhnívajícího procesu nám udává jaké maximální množství organické sušiny na m³ a den můžeme dodávat do fermentoru, aniž by došlo k překrmění bakterií a tím i zastavení procesu. [4]
- 10) Rovnoměrný přísun substrátu – rovnoměrným přísunem substrátu v co nejkratších intervalech (jednou až dvakrát denně) zabráníme nadměrnému poklesu teplot v plnicí zóně a přispějeme tak větší teplotní stabilitě procesu. [4]
- 11) Odplynování substrátu – odchází-li ze substrátu průběžně plyn, mohou metanové bakterie vykazovat vysoký rozkladný výkon. Nebude-li plyn z fermentoru odváděn, může dojít v nádrži k velkému vzestupu tlaku plynu a tím i k případným škodám. U řídkých substrátů dokonce dochází ke spontánnímu vzniku malých plynových bublin. K zabránění vzniku bublin v substrátu se osvědčilo několikrát denně substrát promíchat. [4]

2.2 Substráty

V zásadě všechny organické látky jdou rozložit anaerobním i aerobním rozkladem. Pro aerobní rozklad jsou vhodné pevné materiály, jako jsou například štěpky z ořezu dřevin, listí a trávy. Tomuto zpracování se také říká kompostování. Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.1, vznik bioplynu vzniká anaerobní fermentací nebo také lze říci kvašením bez přístupu vzduchu. Pro tento rozklad se jako substrát používají kapalný a mokrá materiál jako je kejda (kapalný hnůj), zbytky jídel, tuky, kukuřičné siláže, cukrovarské řízky a jiné. [4]

Pro vznik bioplynu bioplynovou technologií je důležitý obsah organické sušiny v substrátu, který má být v mezi 5 až 15 % [1]. Při obsahu organické sušiny menší než 5% proces bude ještě probíhat, avšak pro výrobní technologii bioplynu by bylo zapotřebí použít velké množství vody. Z tohoto důvodu je použití substrátu s organickou sušinou menší než 5% nevhodné. Obsah organické sušiny 15% a více je z technologického hlediska nepřijatelný. Do hranice 15 % lze substrát ještě čerpat, promíchat a mísit ve fermentoru. [4]

Důležitým faktorem pro kvalitní substrát a tím spojený dobrý průběh anaerobní proces je poměr uhlíku a dusíku. Je-li tento poměr příliš vysoký, dochází k deficitu kyslíku, naopak při nízkém poměru C:N dochází k vysoké produkci amoniaku, který je při vyšších koncentracích

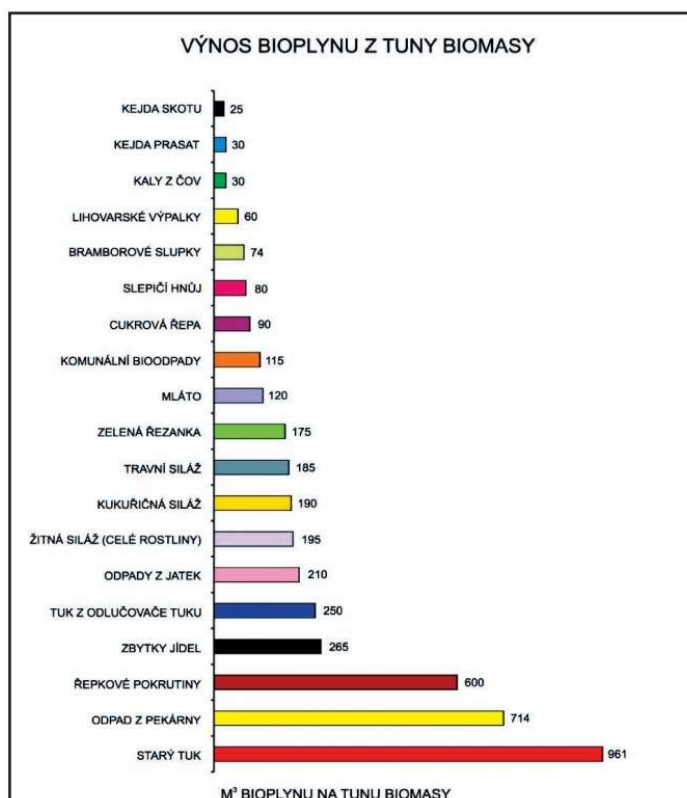
toxický pro anaerobní bakterie. Optimální poměr C:N se pohybuje od 16:1 až po 30:1. Jako kritický poměr se považuje 12:1. [7]

2.2.1 Rozdělení substrátu

Substrát nebo též biomasu získáváme zejména dvěma způsoby a to jako zbytkový produkt a nebo záměrně pěstovanou biomasu.

- 1) Odpadní biomasa – za odpadní biomasu považujeme vše, co není záměrně pěstováno nebo produkováno pro bioplynovou technologii. [4]
 - Odpady z živočišné výroby: kapalný hnůj (kejda), stájový hnůj a exkrementy z hospodářských zvířat
 - Komunální odpady: kuchyňské zbytky, tuky, odpadní vody, prošlé potraviny
 - Odpady z průmyslových technologií: odpady z cukrovaru (řízky), odpady z lihovarů (výpalky), jatečné odpady, odpady z výroby piva apod.
- 2) Účelově pěstována biomasa – jedná se o biomasu, které zemědělci pěstují za účelem získávání bioplynu. Jedná se hlavně o kukuřičnou siláž, žitnou siláž a travní siláž.

Na obrázku 2 můžeme vidět závislost vzniku bioplynu z jedné tuny substrátu. V běžné praxi se na bioplynových stanicích setkáváme se substrátem, který je namíchaný z více organických složek pro optimální dosažení bioplynu a také z důvod dostupnosti substrátu. Z obrázku 3 lze vyčíst, že jako nejlepší substrát se jeví starý tuk. V běžné praxi je takového tuku velmi omezené množství. Z toho důvodu provozovatelé bioplynových stanic míchají substrát nejčastěji z kukuřičné siláže, žitné siláže, cukrovarské řízky a mnoho dalšího. [4]



Obrázek 2: Výnos bioplynu z tuny biomasy [8]

2.3 Složení bioplynu

Princip vzniku bioplynu ze skládek, nebo ze substrátů je zásadně stejný, ale obsah zastoupených plynů v bioplynu se liší podle vzniku. V ideálním případě je bioplyn směs plynů metanu (CH_4) a oxidu uhličitý (CO_2). V praxi je však bioplyn tvořen příměsí dalších plynů, které mají menší zastoupení. Vysoké hodnoty minoritních plynů nám mohou signalizovat poruchu průběhu anaerobní fermentace, nebo přítomnost některých chemických prvků v substrátu. Nejčastějšími minoritními plyny jsou oxid siřičitý (SO_2), vodík (H_2), sulfan (H_2S), dusík (N) a malé množství vodních par. Pro dobrou kvalitu bioplynu je důležitý co nejvyšší obsah metanu. Průměrné složení bioplynu je uvedeno v následující tabulce 1. [9][10]

Tabulka 1 Složení bioplynu [10]

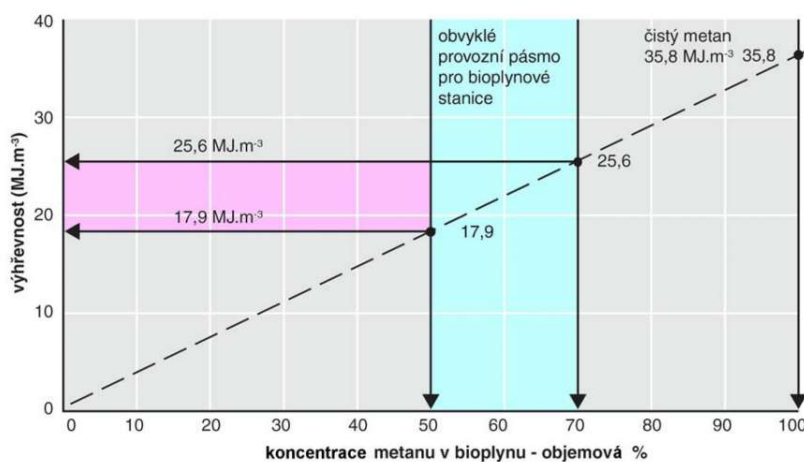
Složka	Obsah [%]
Methan (CH_4)	45 - 75 %
Oxid uhličitý (CO_2)	25 - 48 %
Vodík (H_2)	0 - 3 %
Sulfan (H_2S)	0,1 - 1 %
Dusík (N)	1 - 3 %
Amoniak (NH_3)	stopové množství

2.3.1 Minoritní plyny

- 1) Oxid uhličitý – vysokým obsahem CO_2 je indikováno nevytvoření optimálních podmínek pro anaerobní fermentaci. [9]
- 2) Kyslík – přítomnost O_2 , kromě počáteční fáze, může být zapříčiněno zavzdušnění pracovního prostoru. Zavzdušnění bioplynu kyslíkem je velmi nebezpečné a nežádoucí. Při určité koncentraci metanu v kyslíku vzniká výbušná směs. [9]
- 3) Vodík – přítomnost H_2 není pro energetické zpracování žádný problém, avšak přítomnost tohoto plynu značí o narušení rovnováhy mezi průběhy acidogenní a metanogenní fáze. Toto narušení je způsobené nadměrnou zátěží fermentoru surovým materiálem, nebo také dochází k inhibičním účinkům potlačující rozvoj metanogenních organismů. [9]
- 4) Oxid uhelnatý – stopy CO mohou naznačovat lokální vznik ložisek požáru při suché anaerobní fermentaci. Toto se vyskytuje především na skládkách komunálních odpadů. [9]
- 5) Sulfan – obsah H_2S velmi závisí na druhu použitého substrátu. Vysoký obsah H_2S působí potíže při následném využití bioplynu, především při spalování v kogeneračních jednotkách. [9]

2.4 Vlastnosti bioplynu

Výhřevnost bioplynu závisí především na obsahu metanu (obrázek 3). Ostatní minoritní plyny jsou z energetického hlediska téměř zanedbatelné. Spálené teplo suchého bioplynu má stejnou hodnotu jako výhřevnost. Provozní pásmo pro bioplynové stanice se pohybuje v rozmezí $17,9 - 25,6 \text{ MJ/m}^3$. [9][10]



Obrázek 3 Výhřevnost bioplynu v závislosti na koncentraci metanu [11]

Další důležitou vlastností bioplynu je zápalnost. Hranice zápalnosti opět závisí především na obsahu metanu. Hranice zápalnosti bioplynu ve směsi se vzduchem je 6 – 12 %obj. Tato relativně malá koncentrace bioplynu již tvoří zápalnou směs. Zápalná hodnota bioplynu je stejná jak pro metan a to 650 – 700 °C. Velmi důležitá je hodnota hustoty metanu a bioplynu s 60 % podílem metanu. [9]

Základní vlastnosti bioplynu a metanu jsou uvedeny v následující tabulce 2.

Tabulka 2 základní vlastnosti bioplynu a metanu [12]

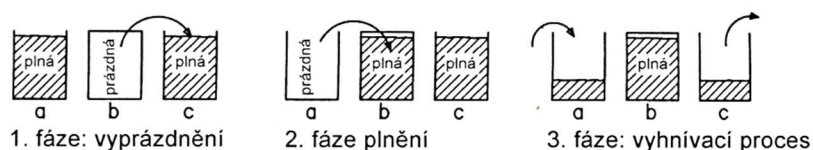
základní vlastnosti		Bioplyn (60% CH ₄)	Metan CH ₄
objemový podíl	[%]	100	45-75
výhřevnost	[MJ/m ³]	21,5	35,84
práh vzplanutí	obj. [%]	6 – 12	5 - 15
teplota zapálení	[°C]	650 - 750	650 - 750
měrná hmostnost	[kg/m ³]	1,2	0,714
Wobbeho číslo	[MJ/m ³]	53,45	53,46

2.5 Bioplynové technologie

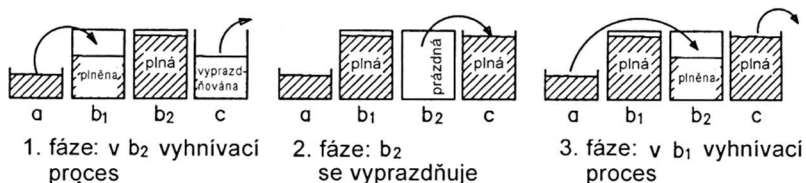
Bioplyn je starý jako je známo samotné lidstvo, jen jsme o něm neměli ponětí a neuměli jsme ho využívat. S postupným vývojem jsme dokázali využívat potenciál bioplynu a s vývojem souvisel i rozmach technologií pro získávání bioplynu ze zdrojů, které se můžeme sami vyprodukovat za tímto účelem. S dlouhým výzkumem vznikalo mnoho řešení bioplynových zařízení. V letech 2008 – 2013 došlo díky podpoře z veřejného sektoru v České republice k výraznému rozmachu převážně zemědělských bioplynových technologií. Cílem této práce není popsat detailně veškeré technologie pro výrobu bioplynu. Z tohoto důvodu se zaměříme pouze na bioplynové technologie v zemědělském sektoru a také se zaměříme pouze na nejčastější řešení. [4]

Z obrázku 4 můžeme vidět, že se bioplynové technologie zásadně dělí podle způsobu plnění substrátem. Poté lze dělit podle počtu pracovních fází a podle konzistence substrátu ve vyhnívací nádrži.

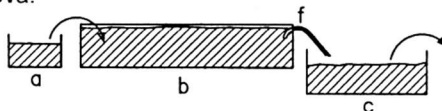
I Dávková metoda:



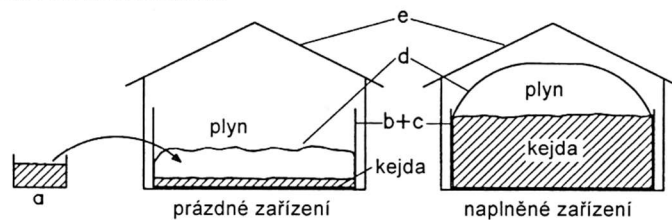
II Metoda střídání nádrží:



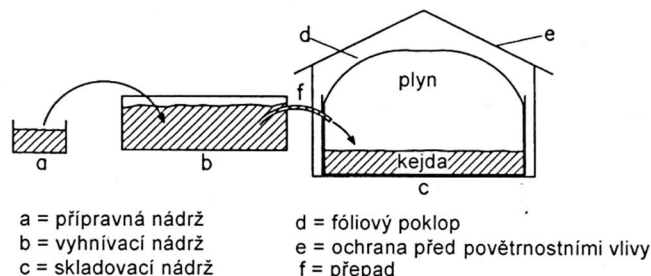
III Metoda průtoková:



IV Metoda se zásobníkem



V Metoda průtoková se zásobníkem na konci



Obrázek 4 Typické bioplynové technologie [4]

2.5.1 Způsob plnění

Způsob plnění můžeme rozdělit na 2 oblasti a to na kontinuální (průtokový postup), nebo na diskontinuální (dávkový postup).

2.5.1.1 Dávkový postup plnění

1) Dávková metoda

U dávkového postupu se vyhňivací nádrž naplní najednou. Dávka poté vyhňívá do konce doby kontaktu, aniž by se přidával nebo odnímal další substrát. Produkce vzniklého bioplynu

postupně roste až do svého maxima, po dosažení maxima začne produkce bioplynu mírně klesat. Po skončení doby kontaktu se vyhnívací nádrž vyprázdní. Přitom se zanechá na dně vyhnívací nádrže (fermentoru) cca 10 % původního kalu. Toto množství se zanechává z důvodu přenesení požadovaných bakterií (tzv. naočkování) do nového substrátu. Naočkování urychluje proces startu fermentace. Bioplyn musí být z nádrže odváděn do externího zásobníku. [4]

Nevýhodou této metody je nutnost stavět více nádrží vedle sebe aby bylo možné dávkový fermentor naplňovat a vyprazdňovat jedním rázem. Vedle hlavního fermentoru proto musí být k dispozici také přípravnou a skladovací nádrž o stejném objemu jako je hlavní fermentor. [4]

Dalším negativním prvkem této metody je nerovnoměrná produkce bioplynu. Nerovnoměrnou produkci lze částečně vyrovnat dvěma menšími fermentory, které se střídavě plní a vyprazdňují vždy po uplynutí poloviny doby kontaktu. Při takto častém plnění dochází ke značným ztrátám vyprodukovaného bioplynu. [4]

Metoda dávkování se v běžné praxi pro konvenční produkci nepoužívá. Avšak pro laboratorní podmínky je z hlediska hygienického tato metoda ideální, neboť při ní nedochází ke smíchání čerstvého a starého substrátu. [4]

2) Metoda střídání nádrží

Metoda střídání nádrží pracuje s dvěma vyhnívacími nádržemi, s jednou přípravnou a jednou skladovací nádrží. Tato technologie pracuje na principu plnění vždy jedné vyhnívací nádrže. Do první vyhnívací nádrže je z přípravné nádrže přečerpáván nový substrát, zatím co v druhé vyhnívací nádrži probíhá proces fermentace. Skladovací nádrž je mezi tím vyprazdňována na vhodné plochy. Jakmile je první fermentor plný a začne proces fermentace, tak obsah z druhého vyhnívacího fermentoru je přesouván do skladovací nádrže, jehož kapacita by z pravidla měla být větší než je obsah jedné vyhnívací nádrže. Jak se dokončí přesun kalů z druhého fermentoru, tak se tento fermentor opět začne plnit novým substrátem z přípravné nádrže a proces se znovu opakuje. [4]

Výhodou této metody je rovnoměrná výroba bioplynu a dobrý hygienizační účinek, neboť během celé doby vyhnívání není doplňován nový substrát do vyhnívací nádrže.

Nevýhodou této metody jsou vysoké pořizovací náklady z důvodu výstavby 4 nádrží. Dalším negativním faktorem oproti dávkové metodě (s 1 vyhnívací nádrží) je nutnost dodávání většího tepla na výhřev dvou vyhnívacích nádrží a vyšší tepelné ztráty. [4]

3) Metoda se zásobníkem

Metoda se zásobníkem je v podstatě stejná jak metoda dávkovací jen s tím rozdílem, že u metody se zásobníkem je spojena vyhnívací a skladovací nádrž do jedné velké nádrže. Na konci doby kontaktu je vyhnívací substrát ve společné nádrži téměř všechen vyčerpán. Ve společné nádrži opět musí být ponecháno cca 10% kalů pro naočkování nového substrátu důležitými bakteriemi pro rychlý rozběh procesu vyhnívání. Poté může být opět nádrž znovu naplněna novým substrátem. [4]

Výhodou této technologie je, že nemusíme vzniklý bioplyn odvádět do externího zásobníku a můžeme ho skladovat v jednom fermentoru. Mezi velké výhody patří i jednoduchost této technologie a možnost přebudování starých jímek na kejdu. Další výhodou jsou nižší pořizovací náklady než u předešlých dvou metod. [4]

U zásobníkových zařízení s fóliovým krytem jsou problémem vysoké tepelné ztráty před fólií a v případě použití staré jímky na kejdu nejsou izolační vlastnosti jímky na ideální úrovni.

Proto jsou tyto technologie provozovány v oblasti s nižšími teplotami a to od 20 až po 25 °C. [4]

2.5.1.2 Průtokový postup plnění

1) Průtoková metoda

Tato metoda je specifická tím, že vyhnívací nádrž je neustále naplněna substrátem a vyprazdňuje se jen v případech nutné opravy, nebo kvůli odstranění usazenin na dně vyhnívací nádrže. Z malé přípravné nádrže je čerstvý substrát několikrát denně dodáván do vyhnívací nádrže. Při doplňování čerstvým substrátem automaticky odchází vyhnílý substrát přímo do skladovací nádrže. Výhodou průtokové metody je rovnoměrná výroba bioplynu a také dobré vytížení vyhnívacího prostoru. Neopomenutou výhodou také jsou nízké ztráty tepla ve vyhnívacím prostoru. Nevýhodou této metody je, že v závislosti na míchací technice může dojít k promíchání čerstvého a vyhnílého substrátu a tím se znehodnotí hygienizační efekt. [4]

2) Průtoková metoda se zásobníkem na konci

Kombinované zařízení reprezentuje nejčastější způsob používání bioplynových technologií. Tato metoda vznikla spojením průtokové vyhnívací nádrže a skladovací nádrže. Z počátku byla tato skladovací nádrž na vyhnílou kejdou otevřená, posléze se tyto skladovací nádrže opatřovali fóliovým poklopem nebo s pevným krytem. Tento krok vedl k zmenšení ztrátám na dusíku ve vyhnílé kejdě a také k získání dodatečného bioplynu. Při průměrné skladovací době kejdou ve skladovací nádrži (7 měsíců) se zjistilo, že zakrytím této nádrže lze získat o 20 až 40 % více bioplynu. Tato nádrž nebývá zpravidla nijak zateplena ani vytápěna nebo promíchávána, takže náklady na získání více bioplynu jsou relativně malé. [4]

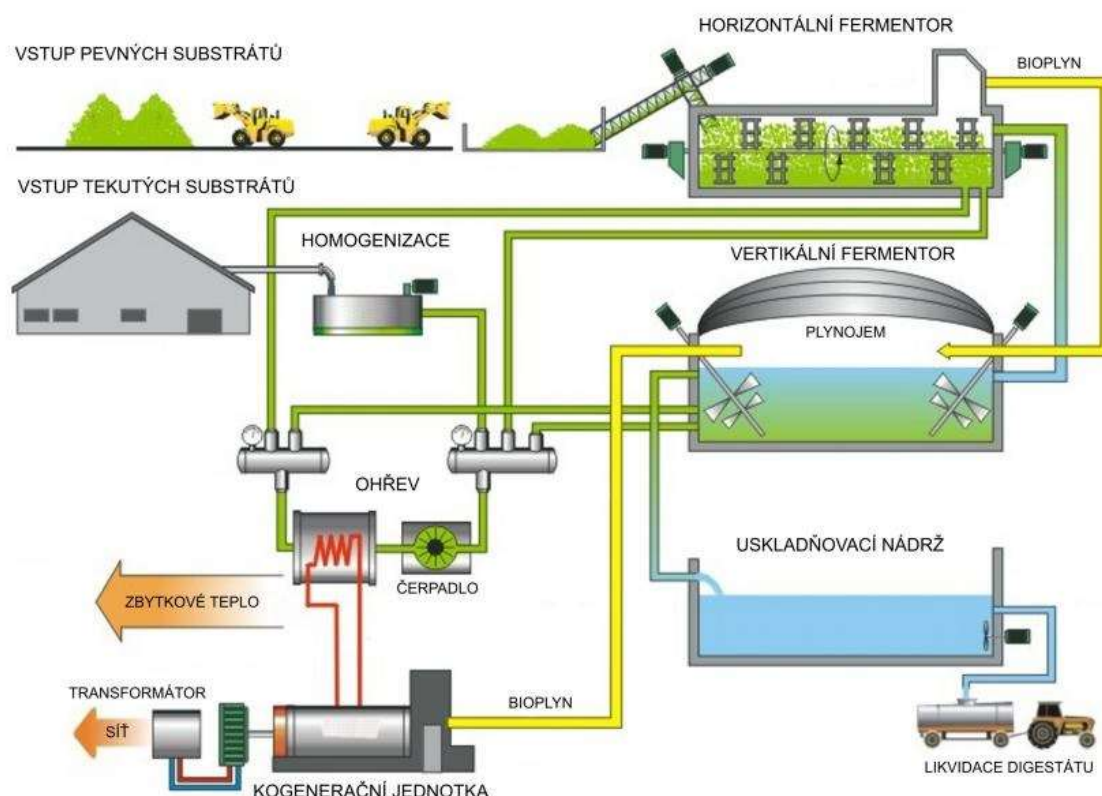
2.5.2 Počet pracovních fází

V kapitole 2.1.1 jsme si popsali jednotlivé fáze vzniku bioplynu. V závislosti na těchto fázích lze rozdělit výrobní proces na jednostupňový a vícestupňový. Při jednostupňovém procesu probíhají všechny 4 fáze popsané v kapitole 2.1.1 v jedné vyhnívací nádrži. U plně promíchávaných zařízení dochází k těmto fázím souběžně ve stejném čase i prostoru. U zařízení, které nemají ve směru toku promíchávání, dochází k těmto 4 fázím v různých prostorech jedna fáze za druhou. [4]

U vícestupňových výrobních procesech se prostor pro jednotlivé fáze oddělují buď přepážkami ve vyhnívací nádrži, nebo se používá větší počet vyhnívacích nádrží mezi kterými je substrát přečerpáván. [4]

2.5.3 Konzistence substrátu

Podle obsahu sušiny můžeme bioplynové technologie rozdělit na suché kvašení a mokré kvašení. Pojmenování suché kvašení je dosti matoucí, protože z kapitoly 2.1.2 víme, že bakterie, které jsou důležité pro vznik bioplynu, přežívají a množí se pouze ve vlhkém až mokré prostředí. Toto prostředí musí obsahovat alespoň 50 % vody. Mokřím kvašením označujeme proces kdy je obsah sušiny v substrátu 5 až 15 %. Horní mez mokrého kvašení je dána čistě z praktického hlediska, protože jakmile je obsah sušiny v substrátu více jak 15% nelze ho jed-



Obrázek 6 Schéma bioplynové stanice [13]

Na obrázku 6 můžeme vidět jeden z několika běžně používaných typů bioplynových stanic. V první fázi je substrát kolovými nakladači dodáván do dávkovacího zařízení. V tomto zařízení může docházet k předúpravě substrátu, pokud to vlastnosti substrátu požadují (např., vysoký obsah sušiny, hygienizace, apod.). Dávkovací zařízení v určitých intervalech dodává do horizontálního nebo vertikálního fermentoru (podle zvolené bioplynové technologie) substrát v přesných dávkách. Ve fermentoru je substrát promícháván a kontinuálně probíhá proces fermentace. Při tomto procesu se uvolňuje vzniklý bioplyn, který je zachycen a dopraven do plynojemu. Vyhnílý substrát z fermentoru putuje do defermentoru a nebo do otevřené uskladňovací nádrže. Digestát (tuhý zbytek substrátu) a fugát (tekutý zbytek substrátu) získáme z vyhnílého substrátu, které jsou zpravidla vyváženy na zemědělské plochy jako hnojivo. [6]

Zachycený bioplyn v plynojemu je následně upravován a dále využíván. Prakticky většina bioplynových stanic je koncepčně řešena s kogenerační jednotkou, která produkuje elektřinu a teplo. Elektřina z kogenerační jednotky je částečně využívána pro potřebu bioplynové stanice a většina elektrické energie je dodávána do distribuční sítě. Teplo z kogenerační jednotky se využívá pro nezbytné ohřívání fermentorů popřípadě k ohřevu stájí. V některých případech je teplo dodáváno jiným technologiím vyžadující teplo, jako jsou například sušárny, skleníky a jiné technologie. Dovoluje to místní infrastruktura je možné teplo z bioplynových stanic také dodávat do místní distribuční sítě rozvodu tepla. Dalším možným využitím bioplynu je tzv. upgrading (zušlechtění). Tímto procesem vyčistíme bioplyn na tzv. biometan, který je složením na úrovni zemního plynu. [6]

3 Potenciál bioplynu v České republice

Jednou z možností využití bioplynu v České republice je díky zákonu č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů) výroba elektrické energie kogenerací. Schválením tohoto zákona došlo od roku 2006 do roku 2013 k razantnímu nárůstu bioplynových stanic v České republice. Bioplynové stanice postavené v tomto období využívají státní podpory formou garantovaných výkupních cen elektřiny. Tyto výkupní ceny jsou vyhlašovány každoročně Energetickým regulačním úřadem. Zákon č. 180/2005 Sb. stanovuje dva způsoby výkupu elektřiny:

- Garantovaná výkupní cena – cena je nastavena tak, že garantuje 15 letou návratnost investic do pořízení technologie. Energii je povinen odebírat jeden z hlavních energetických distributorů (ČEZ, E.ON). [14]
- Zelený bonus – je fixován na jeden rok dopředu, jde o příspěvek k vyrobené elektrické energii, kterou si provozovatel bioplynové stanice může spotřebovat sám, nebo prodat třetímu subjektu za libovolnou cenu. [15]

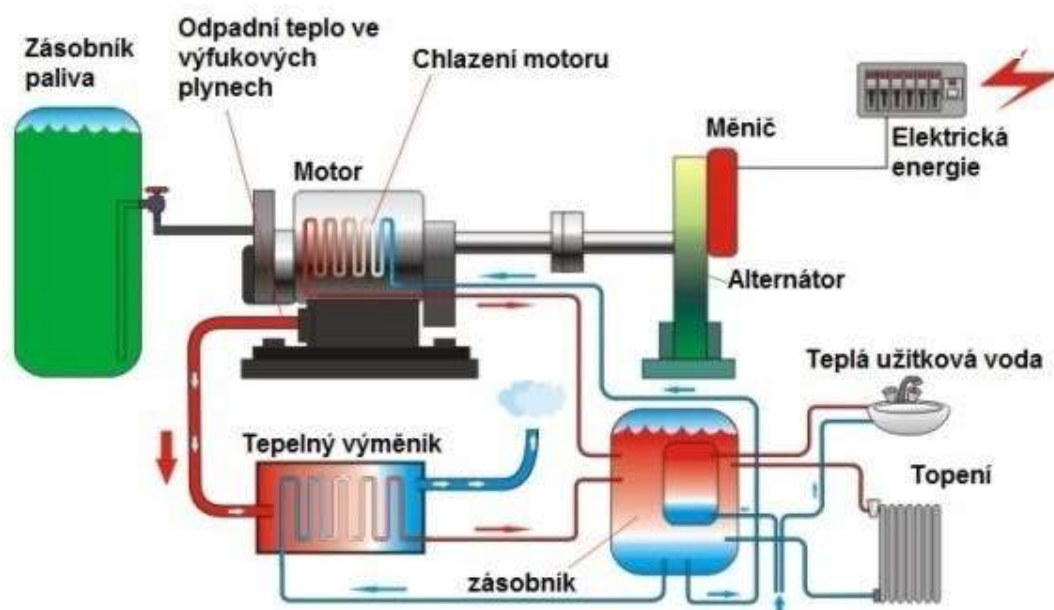
Schváleným zákonem č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů se fakticky pozastavuje možnost čerpat státní podporu formou garantovaných výkupních cen pro nově vybudované elektrárny využívající obnovitelné zdroje energie. Stávající bioplynové stanice vybudované v letech 2006 až 2013 dále mohou využívat státní podporu formou zelených bonusů, nebo garantovaných výkupních cen po dobu 15 let od uvedení stanice do provozu. Podpora nové výroby bioplynu byla tedy pozastavena. [16]

Další možností provozovatelů bioplynových stanic je produkce vyčištěného bioplynu tzv. biometan. Tento biometan není v současné době podporován žádnou formou dotace ze strany státu. Producenti jsou pouze zvýhodnění nulovou spotřební daní, kterou vláda Parlamentu České republiky v rámci „Memoranda o dlouhodobé spolupráci v oblasti rozvoje vozidel na zemní plyn pro období do roku 2025“ v loňském roce prodloužila až do roku 2025. V rámci tohoto memoranda se stát také zavázal k podpoře nákupů vozidel na CNG a zkapalněný zemní plyn LNG pro účely městské hromadné dopravy. Dalším bodem memoranda je závazek k podpoře využití zemního plynu v dopravě na základě Národního akčního plánu čisté mobility, která říká například, že v roce 2020 by měly mít orgány veřejné správy ve svých vozových parcích minimálně čtvrtinu aut s alternativním pohonem. Podle tohoto plánu by to mohlo představovat až 5000 nových vozů na CNG. Protistranou k memorandu jsou energetické společnosti, které se zavázaly k postupnému prosazování „ozelenění“ zemního plynu. To znamená, že energetické společnosti mají za cíl zvyšovat podíl biometanu v celkové spotřebě zemního plynu v České republice. [17][18]

3.1 Kogenerace

Většina bioplynových stanic v České republice využívá kogenerační jednotku s pístovým spalovacím motorem s hlavní produkcí elektrické energie. Toto je zapříčiněno státní podporou na výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Tato podpora je ve formě garantovaných výkupních cen nebo tzv. zelené bonusy, které představují příplatek k tržní ceně elektrické energie od distributora a vyrobenou elektrickou energii provozovatel sám prodává (spotřebovává).

Principem kogenerace je kombinovaná výroba tepla a elektrické energie pístovým spalovacím motorem. Spalovací motor využívá jako palivo v našem případě vyčištěný bioplyn od sulfanu a jiných látek, které jsou pro chod motoru nežádoucí. Motor pohání alternátor, který dodává elektrickou energii do distribuční sítě. Pro chlazení motoru se využívá chladící médium, které své teplo předává v tepelném výměníku k dalšímu využití. Ke zvýšení tepelné účinnosti lze kogenerační jednotku vybavit tepelným výměníkem výfukových plynů. Výkony kogenerační jednotky se spalováním bioplynu jsou velmi rozsáhlé, elektrický výkon může být od 25 – 2 000 kW a tepelný výkon od 47 – 2140 kW. [19]



Obrázek 7 Kogenerační jednotka se spalovací motorem [20]

Celkový instalovaný elektrický výkon kogeneračních jednotek v České republice je 366 MW v 574 bioplynových stanicích s výrobou elektrické energie 2 639 GWh za rok 2017. Výroba elektrické energie z bioplynu se podílí 27 % na celkové výrobě elektřiny z obnovitelných zdrojů a 3 % na celkové výrobě elektrické energie v České republice. [21]

Potenciál celkového tepelného výkonu z kogeneračních jednotek je celkem 368 MW. Část tepla se využívá pro vlastní provoz bioplynových stanic a ve výjimečných případech i pro další technologie. Vzniklé teplo lze využívat například pro vytápění zemědělských skleníků pro pěstování zeleniny, v případě vhodné místní infrastruktury možnost dodávání tepla do teplovodního vedení pro vytápění domů nebo například pro technologie sušáren krmiv a jiných výrobních technologií. S využíváním vyprodukovaného tepla by se razantně zvýšila efektivita jednotlivých bioplynových stanic. Využití tepla vždy závisí na ekonomickém zhodnocení provozovatelem bioplynové stanice.

Výhodou výroby elektřiny z kogeneračních jednotek je stálost dodávané energie do distribuční sítě. Ovšem, kdyby tato výroba nebyla dotována státem, výroba elektřiny by byla značně neekonomická. Provozovatelé bioplynových stanic proto musí začít řešit problém, jakým směrem se vydají po skončení garantovaných výkupních cen elektřiny.

3.2 Rešerše možnosti zvýšení efektivity BPS - Čištění bioplynu

Pro další využití bioplynu je vhodné zvýšit jeho kvalitu. Zvýšení kvality bioplynu zajistíme vhodnou úpravou. Takto upravený bioplyn lze využívat například pro pohon vozidel, nebo používat místo zemního plynu. Tento upravený též zušlechťený bioplyn se nazývá biometan, který odpovídá kvalitativním požadavkům pro vtláčení zemního plynu do distribuční sítě. Při úpravě bioplynu dochází k odstranění nebo ke snížení podílů minoritních složek bioplynu, jako je například oxid uhličitý, voda, sulfan, kyslík, dusík atd. [22]

3.2.1 Biometan

Biometan upravený na kvalitu zemního plynu pro vtláčení do distribuční soustavy musí splňovat parametry dané normou. Tyto parametry se mohou pro jednotlivé státy mírně lišit. V České republice jsou tyto požadavky nastaveny změnou technických pravidel TPG 902 02 „Jakost a zkoušení plyných paliv s vysokým obsahem metanu“, které jsou uvedeny v tabulce 3. Parametry uvedené v TPG 902 02 jsou pouze doporučené. Provozovatel distribuční sítě v České republice má právo požadovat i přísnější parametry plynu pro vtláčení biometanu do distribuční sítě. [23]

Tabulka 3 Požadavky na kvalitu zemního plynu [23]

Parametr	Hodnota
Obsah metanu	Min. 95,0 % mol.
Obsah vody	Max. -10 °C
Vyjádření jako teplota rosného bodu vody při předávacím tlaku	
Obsah kyslíku	Max. 0,5 % mol.
Obsah oxidu uhličitého	Max. 5,0 % mol.
Obsah dusíku	Max. 2,0 % mol.
Obsah síry (bez odorantů)	Max. 30 mg/m ³
Obsah merkaptonové síry (bez odorantů)	Max. 5 mg/m ³
Obsah sulfanu	Max. 7 mg/m ³
Obsah amoniaku	Nepřítomen
Halogenové sloučeniny	Max. 1,5 mg(Cl+F)/m ³
Organické sloučeniny křemíku	Max. 6 mg (Si)/m ³
Mlha, prach, kondenzáty	nepřítomny

Jestliže chceme použít vyčištěný bioplyn pro pohon motorových vozidel, musíme se řídit normou ČSN 65 6514. Tato norma nám udává parametry plynu, které biometan musí splňovat.

Tabulka 4 Požadavky na kvalitu plynu [24]

Vlastnosti	Jednotka	Požadavky typ LH		Požadavky typ H	
		min.	max.	min.	max.
Výhřevnost vyjádřena jako Wobbeho číslo nebo obsah metanu	MJ/m ³ % (V/V)	44,7 96	46,4 98	43,9 95	47,3 99
Oktanové číslo motorovou metodou	-	130		130	
Rosný bod vody, kde t = nejnižší průměrná měsíční teplota	°C	t-5		t-5	
Obsah vody	mg/m ³	32		32	
Suma obsahu oxidu uhličitého + kyslíku + dusíku. Z toho kyslík	% (V/V)	4,0 1,0		5,0 1,0	
Celkový obsah síry	mg/m ³	10		10	
Celkový obsah dusíkatých nečistot (kromě N ₂) jako NH ₃	mg/kg	20		20	
Alkoholy		nedekovatelné		nedekovatelné	

Poznámka: Pro účely normy vyjadřuje „% (V/V)“ objemový zlomek.

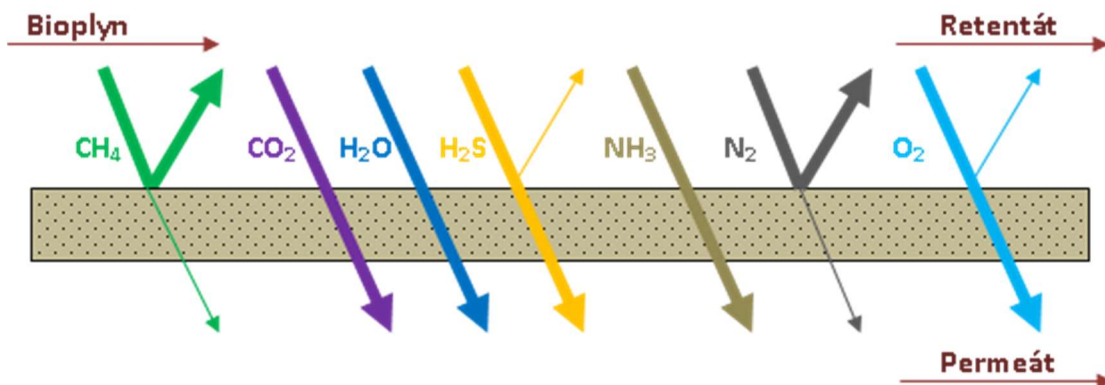
Kromě výše zmíněných právních předpisů, musí biometan splňovat mnoho dalších právních předpisů, jako je např. zákon č. 485/200 Sb. o podmínkách podnikání a výkonu státní správy v energetických odvětvích a i změně některých zákonů (energetický zákon) v plném znění, vyhláška č. 459/2012 Sb. o požadavcích na biometan, způsob měření biometanu a kvality biometanu dodávaného do přepravní soustavy, distribuční soustavy, atd.

3.2.2 Technologie čištění bioplynu

Pro čištění bioplynu na úroveň zemního plynu existuje několik technologií, jako je například vysokotlaká vodní vypírka, chemická adsorpce, PSA, kryogenní separace a membránová separace. V následujících krocích budou jednotlivé separace obecně vysvětleny.

3.2.2.1 Membránová separace bioplynu

Membránová separace je založena na polopropustné tenké membráně, která plní roli základního separačního elementu. Touto membránou mohou procházet některé molekuly jako je například CO₂. Zpracovávaná surovina, v našem případě bioplyn, je přiváděna na aktivní vrstvu membrány, kde některé molekuly membránou procházejí a jiné molekuly jsou membránou zadržovány. Molekulám plynů, které projdou přes membránu, se říká permeát. Naopak molekulám plynů, které zůstanou separovány, se říká retentát. Z retentátové strany po této separaci odchází směs plynů, která má vysoký obsah žádoucího metanu. [25]

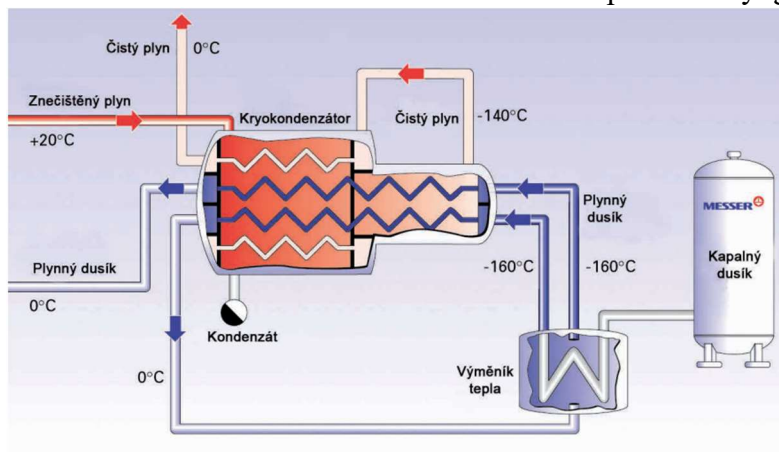


Obrázek 8 Schéma membránové separace [25]

Výhodou membránové separace je především jednoduchost procesu, nízké energetické náklady na provoz technologie, nízké nároky na údržbu a nezávislost na změně složení bioplynu. Další nespornou výhodou je nepotřeba žádné kapaliny pro provoz separace, tudíž není ji třeba regenerovat nebo likvidovat. [25][26]

3.2.2.2 Kryogenní separace

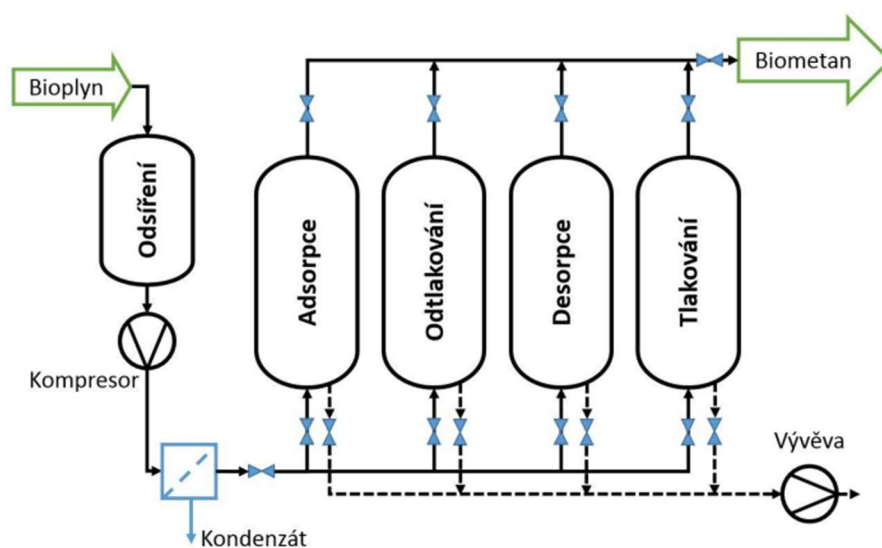
Princip kryogenní separace neboli vymrazování je postaven na rozdílných bodech varu oxidu uhličitého (-78°C) a metanu (-161°C) při atmosférickém tlaku. Při ochlazení bioplynu na velmi nízkou teplotu (min -80°C) dochází k oddělení oxidu uhličitého v kapalně formě od metanu. Před samotný proces kryogenní separace je nezbytné zařadit proces vysoušení a odsíření bioplynu. Výhodou této separace je vysoká čistota získaného biometanu a možnost dále využití získaný zkapalněný oxid uhličitý. Při použití ještě nižších teplot dochází ke zkapalnění metanu, který se může stát náhradou za LNG (liquid natural gas). Nevýhodou této separace je vysoká energetická náročnost. Na obrázku 9 lze vidět schéma procesu kryogenní separace. [27]



Obrázek 9 Schéma vymrazovací jednotky DuoCondex [27]

3.2.2.3 PSA

Metoda pressure swing adsorption, česky adsorpce za měnícího tlaku, je významná metoda jak dělit velké množství plynů pomocí zachytu jedné nebo více složek směsi na vrstvě adsorbentu. Tato metoda je založena na fyzikální adsorpci nežádoucích plynných složek na porézním materiálu, například jako aktivní uhlí, silikagel, alumina pomocí Van der Waalsových sil při zvýšeném tlaku a zároveň desorpci při nízkém tlaku. Tímto může být sorbent regenerován a použit v následujícím adsorpčním cyklu.[28] Schematické znázornění technologie PSA s obvyklým uspořádáním je na obrázku 10. Toto uspořádání tvoří čtyři adsorbéry s vrstvou adsorbentu, kompresor, vývěva a systém ventilů a potrubí. Metoda PSA je jednou z nejvyužívanějších technologií z důvodu nízkých investičních nákladů a nízké energetické potřeby ve srovnání s jinými separačními metodami. [28]



Obrázek 10 Uspořádání technologie PSA [28]

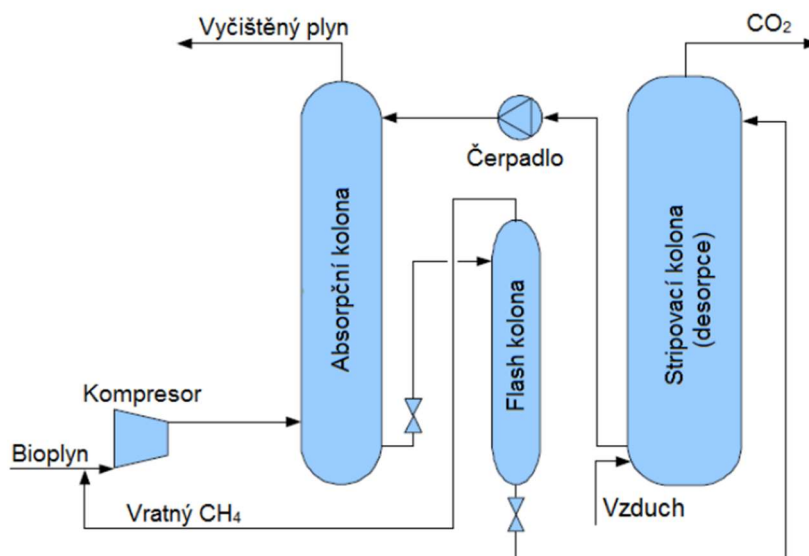
3.2.2.4 Chemická adsorpce

Chemickou adsorpcí dokážeme odstranit látky jako je sulfan, amoniak a oxid uhličitý z bioplynu a to použitím vhodného pracího roztoku, který „pohlcuje“ tyto látky. Tato metoda je univerzální a lze využít pro různé směsi plynů, zároveň je vhodná pro celé spektrum bioplynových stanic bez omezení na produkci čistého plynu. Důležitým faktorem je výběr správné tzv. prací kapaliny. Pro zachytávání oxidu uhličitého nebo sulfanu se využívá například vypírka louhem, alkazidová vypírka nebo MDEA. Z hlediska účinnosti odstranění oxidu uhličitého je tato metoda velice účinná, dosahuje účinnosti přes 99 %. Nevýhodou je vysoká investiční cena, koroze technologií a usazování solí. [29]

3.2.2.5 Vodní tlaková vypírka

Při čištění bioplynu vodní vypírkou se využívá fyzikální adsorpce, kde je použita jako rozpouštědlo voda. Nežádoucí složky bioplynu se odstraňují díky odlišné rozpustnosti, kdy tyto

nežádoucí složky jsou více rozpustné ve vodě než metan. Jedná se především o oxid uhličitý, síru a amoniak. Při použití vyššího tlaku vodní vypírky než atmosférický tlak se zvyšuje rozpustnost oxidu uhličitého a to má za následek menší spotřebu vody. Obvykle je plyn v absorberu stlačen na tlak 8 – 10 bar s pracovní teplotou 20 – 25 °C. V praxi se využívají jedno nebo dvoustupňové technologie vodní vypírky. Jednostupňová vodní vypírka má nevýhodu vyšší spotřeby vody než dvoustupňová technologie. Na obrázku 11 je znázorněna jednostupňová vodní vypírka, kdy surový bioplyn je kompresorem stlačen a vháněn do absorberu (vypírky) kde jsou nežádoucí plyny odváděny spolu s vodou. [30]



Obrázek 11 Schéma jednostupňové vodní vypírky [30]

3.2.3 Porovnání technologií čištění bioplynu

Z analýzy velikosti bioplynových stanic v České republice bylo určeno, že více než 70 % všech bioplynových stanic je ve výkonovém rozmezí $P_{el} = 400-1000$ kWe. [31] Tomuto výkonu odpovídá hodinová produkce vyčištěného biometanu do 100 m³/h. Z tabulky 5 tedy vyplývá, že nejmenší počáteční investicí pro pořízení technologie na čištění bioplynu je membránová separace a zároveň tato technologie má i nižší nebo srovnatelné provozní náklady než ostatní technologie na čištění bioplynu.

Tabulka 5 Porovnání čištění bioplynu [32]

Parametr	Vodní vypírka	Organická vypírka	Aminová vypírka	PSA	Membánová separace
běžný obsah metanu v biometanu [vol%]	95,5 - 99,0	95,0 - 99,0	>90,0	95,0 - 99,0	95,0 - 99,0
obsah metanu [%]	98,0	96,0	99,96	98,0	80 - 99,5
ztráta metanu [%]	2,0	4,0	0,04	2,0	20 - 0,5
běžný výstupní tlak [bar]	4 - 8	4 - 8	0	4 - 7	4 - 7
spotřeba el. energie [kWh/m ³]	0,46	0,49 - 0,67	0,27	0,46	0,25 - 0,43
požadavek na vytápění a teplotu	-	střední 70 - 80 °C	vysoký 120 - 160°C	-	-
požadavek na odsíření	závisí na procesu	ano	ano	ano	ano
spotřební materiál	prostředky proti usazeninám, sušící činidlo	organické rozpouštědlo	roztok aminu (nebezpečný, žíravý)	aktivní uhlí	-
rozsah částečného zatížení [%]	50 - 100	50 - 100	50 - 100	85 - 115	50 - 105
počet referenčních stanic	vysoký	nízký	střední	vysoký	nízký
běžné investiční náklady [€/m ³ /h) biometan]					
do 100 m ³ /h biometanu	10.100	9.500	9.500	10.400	7.300 - 7.600
do 250 m ³ /h biometanu	5.500	5.000	5.000	5.400	4.700 - 4.900
do 500 m ³ /h biometanu	3.500	3.500	3.500	3.700	3.500 - 3.700
běžné provozní náklady [€/m ³ biometan]					
do 100 m ³ /h biometanu	14,0	13,8	14,4	12,8	10,8 - 15,8
do 250 m ³ /h biometanu	10,3	10,2	12,0	10,1	7,7 - 11,6
do 500 m ³ /h biometanu	9,1	9,0	11,2	9,2	6,5 - 10,1

4 Bilanční výpočty

Bilanční výpočty byli provedeny pro zjištění aktuální situace výroby bioplynu v České republice za rok 2017. Dále se prováděli výpočty pro zjištění možného procentuálního zastoupení bioplynu na trhu například jako zušlechtění na CNG nebo vtláčení do soustavy zemního plynu. Bilanční výpočty byly zpracovány v programu Mathcad.

4.1 Výroba elektrické energie

V roce 2017 dle Českého energetického úřadu v České republice bylo registrováno 574 bioplynových stanic s celkovým instalovaným elektrickým výkonem (P_{el}) 366 MW. Pro výpočty volíme referenční kogenerační jednotku Jenbacher gas engine typ J612 od firmy General Electric. Dle výrobce je elektrická účinnost (n_{el}) 40%. Celkový výkon potřebný pro výrobu elektrických 366 MW z bioplynu (Q_{BP}) vypočteme podílem celkového elektrického výkonu (P_{el}) a elektrickou účinností (n_{el}).

$$Q_{BP} := \frac{P_{el}}{n_{el}} = 915 \cdot \text{MW} \quad (1)$$

Pro vypočtení koeficientu využití instalovaného výkonu potřebujeme znát teoretickou výrobu elektrické energie za předpokladu, že by bioplynové stanice fungovaly v nepřetržitém provozu a skutečnou výrobu elektrické energie v České republice. Teoretickou výrobu elektrické energie (E_{rel}) v České republice za rok 2017 vypočteme součinem celkovým instalovaným elektrickým výkonem (P_{el}) a počtem hodin za 1 rok (t_{rok}).

$$E_{rel} := P_{el} \cdot t_{rok} = 3206.2 \cdot \text{GWh} \quad (2)$$

Skutečné množství vyrobené elektřiny (E_{skut}) z bioplynových stanic za rok 2017 je 2 638,97 GWh [21]. Ve skutečném provozu bioplynové stanice kogenerační jednotky a zařízení samotné stanice potřebují údržbu a opravy. Z toho důvodu skutečná výroba elektrické energie neodpovídá teoretické výrobě. Koeficient využití instalovaného výkonu (k_p) získáme jako podíl skutečné vyrobené elektřiny (E_{skut}) a teoretické výroby elektřiny za rok (E_{rel}).

$$k_p := \frac{E_{skut}}{E_{rel}} = 0.823 \quad (3)$$

4.2 Plnění soustavy zemního plynu

Při počítání bilančních výpočtů pro plnění soustavy zemního plynu předpokládáme použití veškerého vyprodukovaného bioplynu pouze na zušlechtění. Dle ČSN 65 6514 musí mít zemní plyn minimální obsah metanu 95 %. Při výpočtu vyprodukovaného metanu z bioplynu uvažují 100 % účinnost separace metanu od ostatních složek. Ve skutečnosti je účinnost separace o něco nižší, než je 100 %, ovšem vyčištěný bioplyn stále splňuje normu ČSN 65 6514 pro zemní plyn. Proto účinnost separace v početní části neuvažují. Z toho důvodu nadále při výpočtu používáme indexování CH_4 , tedy počítám s čistým metanem.

Pro výhřevnost bioplynu je důležité množství hořlavého metanu v bioplynu. Výhřevnost metanu (H_{CH_4}) je $35,883 \text{ MJ/m}^3$. Objem metanu v bioplynu (V_{CH_4}) určíme pro výpočty jako 55 %. Výhřevnost bioplynu (H_{BP}) tedy vypočteme jako součin objemu metanu v bioplynu (V_{CH_4}) a výhřevností metanu (H_{CH_4}).

$$H_{BP} := V_{CH_4} \cdot H_{CH_4} = 19.736 \cdot \frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \quad (4)$$

Teoretický objem vyprodukovaného bioplynu (V_{BP_t}) v bioplynových stanicích v České republice za 1 sekundu vypočteme jako podíl celkové energie potřebné pro výrobu 366 MW (Q_{BP}) a výhřevností bioplynu (H_{BP}).

$$V_{BP_t} := \frac{Q_{BP}}{H_{BP}} = 46.363 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (5)$$

Teoretický objem metanu ($V_{CH_4_t}$) vyprodukovaného v České republice za 1 sekundu vypočteme součinem teoretickým objemem vyprodukovaného bioplynu (V_{BP_t}) a objemem metanu v bioplynu (V_{CH_4}).

$$V_{CH_4_t} := V_{BP_t} \cdot V_{CH_4} = 25.5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (6)$$

S využitím koeficientu využití instalovaného výkonu jsme schopni vypočítat skutečné množství vyprodukovaného metanu ($V_{CH_4_R}$) z bioplynových stanic za rok 2017. Skutečné množství metanu ($V_{CH_4_R}$) získáme součinem teoretickým objemem metanu vyprodukovaného za 1 sekundu ($V_{CH_4_t}$), koeficientem využití instalovaného výkonu (k_p) a počtem hodin za rok (t_{rok}).

$$V_{CH_4_R} := V_{CH_4_t} \cdot k_p \cdot t_{rok} = 661895385 \cdot \text{m}^3 \quad (7)$$

Celková spotřeba zemního plynu (s_{spot}) v České republice za rok 2017 je $8\,527,5 \text{ mil m}^3$ [21]. Při úvaze plnit soustavu zemního plynu veškerou produkcí metanu z bioplynových stanic jsme schopni vypočítat možný procentuální podíl produkce metanu na celkovou spotřebu zemního plynu (p).

$$p := \frac{V_{CH_4_R}}{s_{spot}} = 7.7619\% \quad (8)$$

Při využívání získaného bioplynu a následnou separací na metan jsme schopni zásobovat českou distribuční síť zemního plynu 7,7%.

4.3 Pohon vozidel na CNG

Podle Českého plynárenského svazu v roce 2017 v České republice bylo spotřebováno $67,603 \text{ mil m}^3$ zemního plynu (s_{CNG}) na pohon vozidel na CNG (compressed natural gas). Opět za předpokladu, že veškerý vyprodukovaný bioplyn s následnou separací na metan využijeme pouze na plnění čerpacích stanic pro CNG v České republice, jsme schopni vypočítat procentuální možný podíl metanu z bioplynových stanic na plnění čerpacích stanic pro CNG vozidla (p_{CNG}).

$$p_{CNG} := \frac{V_{CH_4_R}}{S_{CNG}} = 979.092\% \quad (9)$$

Z výše uvedeného výpočtu lze říci, že produkce metanu z bioplynových stanic výrazně převyšuje spotřebu CNG v dopravě za rok 2017.

4.3.1 Úspory v produkci CO₂ při provozu automobilu

V následujících krocích vypočítáme možnou úsporu emisí CO₂ vypouštěné do atmosféry. Opět budeme předpokládat, že veškerý vyprodukovaný bioplyn v bioplynových stanicích separujeme se 100% účinností na kvalitu zemního plynu a následně kompresorově stlačíme pro pohon vozidel na CNG. V první řadě se provede přepočet vyprodukovaného metanu z metru krychlových na hmotnost a to z důvodu, že při měření spotřeby automobilu s palivem CNG udáváme spotřebu v kilogramech na 100 km. Celkovou hmotnost separovaného metanu z bioplynu (m_{CH_4}) získáme součinem celkového objemu separovaného metanu ($V_{CH_4_R}$) a hustoty metanu (ρ_{CH_4}). Hustota metanu byla stanovena na 0.707 kg/m³.

$$m_{CH_4} := \rho_{CH_4} \cdot V_{CH_4_R} = 467.9600 \times 10^3 \cdot \text{tonne} \quad (10)$$

Jako referenční vozidlo pro výpočet emisních bilancí volíme Škodu Octavii třetí generace s motorem 1.4 TSI (G-TECH). Při reálném testu v městském provozu bylo redaktorem serveru www.auto.cz spočítána spotřeba 4,5 kg/100km pro CNG a pro Natural 95 (E5) 6,5 l/100km [33]. Při dokonalém spalování metanu dochází k jeho oxidaci kyslíkem za vysoké teploty a vzniká oxid uhličitý a voda.



Pro výpočet vyprodukovaného oxidu uhličitého z 1 kg metanu uvažujeme molární hmotnost metanu (M_{CH_4}) 16,042 kg/kmol a molární hmotnost oxidu uhličitého (M_{CO_2}) 44,01 kg/kmol. [34]. Přes poměr molární hmotnosti metanu (M_{CH_4}) a oxidu uhličitého (M_{CO_2}) získáme hmotnostní množství vyprodukovaného oxidu uhličitého spálením 1 kg metanu (E_{CNG}).

$$E_{CNG} := \frac{M_{CO_2}}{M_{CH_4}} = 2.743 \frac{1}{kg} \cdot kg \quad (12)$$

Spálením 1 kg metanu v motoru osobního automobilu vyprodukujeme 2,73 kg CO₂. Pro lepší orientaci je lepší udávat vyprodukovaný CO₂ na kilometr jízdy (E_{CNG1}). Toto získáme součinem vyprodukovaného oxidu uhličitého (E_{CNG}) a spotřeby CNG (0,045 l/km) na 1 kilometr jízdy (SP_{CNG}).

$$E_{CNG1} := E_{CNG} \cdot SP_{CNG} = 0.123 \cdot \frac{kg}{km} \quad (13)$$

Výrobce Octavie s motorem 1.4 TSI (G-TECH) Škoda auto a.s. udává vyprodukované emise pro toto provedení 0,124 kg/km pro kombinovanou spotřebu 5,3 l/100km s pohonem na Natural 95.[35] Jenže z reálného testu v městském provozu vyplynulo jako reálná spotřeba 6,5 l/100km.[33] Tudíž musíme provést přepočet vyprodukovaného oxidu uhličitého na reálnou spotřebu (E_{E5}). To provedeme poměrem emisí CO₂ udávané výrobcem automobilu pro kombinovanou spotřebu 5,3 l/100km (E_{VYR}) a právě uváděnou spotřebou (SP_{VYR}).

$$E_{E5} := \frac{E_{VYR}}{SP_{VYR}} = 2.34 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{l}} \quad (14)$$

Následně je vhodné pro porovnávání opět provést výpočet pro získání údaje množství vyprodukovaného CO₂ na kilometr jízdy (E_{E5_1}). To se provede stejně jak ve výpočtu (13), tudíž součinem reálné spotřeby Naturalu 95 (SP_{E5}) a množství vyprodukovaného oxidu uhličitého na reálnou spotřebu 0,065 l/km (E_{E5}).

$$E_{E5_1} := E_{E5} \cdot SP_{E5} = 0.152 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{km}} \quad (15)$$

Při využívání veškerého bioplynu na separaci a následné zužitkování pro pohon vozidel na CNG jsme schopni dosáhnout značných úspor v produkci škodlivého oxidu uhličitého do atmosféry. Při použití vozidla značky Škoda Octavia s motorem 1.4 TSI (G-TECH) s pohonem na CNG vyprodukujeme při spotřebě 4,5 kg/100km 123 g/km oxidu uhličitého. To je o 29 g/km oxidu uhličitého méně než při stejných podmínkách se stejným autem s pohonem na Natural 95. Podle výše vypočtených bilancí jde patrně poznat, že používání paliva CNG oproti Naturalu 95 je ekologičtější. Velikou výhodou spalování CNG je tzv. nulová bilance CO₂, která vede ke snížení vypouštění škodlivého CO₂ do atmosféry. Další nespornou výhodou je snížení závislosti dopravy na fosilních palivech, kterých není neomezené množství.

Nulová bilance se spojuje se spalováním biomasy, kdy vzniká oxid uhličitý. Jedná se o uzavřený cyklus, kdy škodlivé látky uvolněné do ovzduší při spalování biomasy jsou pohlcovány nově dorůstající biomasou, kterou je možné znovu použít pro energetické účely [36].

4.4 Celková úspora CO₂

Celková úspora CO₂ se získá součtem uspořené CO₂ spálením CNG místo fosilního paliva a CO₂ které bylo odstraněno z bioplynu při zušlechťování.

4.4.1 Úspora CO₂ z fosilního paliva

Budeme-li pokračovat v úvaze využití veškerého bioplynu na CNG, můžeme vyčíslit možné teoretické množství ušetřených emisí vypuštěných do ovzduší (U_{fos}). To provedeme součinem množstvím vyprodukovaného CO₂ spálením 1 kg metanu (E_{CNG}) a celkovou hmotností separovaného metanu z bioplynu (m_{CH4}).

$$U_{fos} := E_{CNG} \cdot m_{CH4} = 1283812.57 \text{ tonne} \quad (16)$$

4.4.2 Odstraněné CO₂ při zušlechťování

Při úvaze, že bioplyn má obsah 55 % metanu a 40 % oxidu uhličitého vypočteme celkové množství separovaného CO₂ (U_{sep}) při zušlechťování bioplynu na CNG a to součinem objemu vyprodukovaného bioplynu teoreticky (V_{BP_t}), koeficientem využití instalovaného výkonu (k_p), počtem hodin za rok (t_{rok}), procentuálním zastoupením oxidu uhličitého v bioplynu a hustotou oxidu uhličitého (ρ_{CO2}).

$$U_{sep} := V_{BP_t} \cdot k_p \cdot t_{rok} \cdot 0.4 \cdot \rho_{CO2} = 951588.94 \text{ tonne} \quad (17)$$

Potom celkové ušetřené CO₂ (U) vypočteme jako součet odstraněného CO₂ při zušlechťování (U_{sep}) a úspory z fosilních paliv (U_{fos}).

$$U := U_{\text{sep}} + U_{\text{fos}} = 2235401.5 \text{ ttonne} \quad (18)$$

Jak je vidět z rovnice 18, za rok 2017 bychom byli schopni ušetřit kolem 2 235 tisíc tun nulového CO₂. Za rok 2016 dle International Energy Agency bylo vyprodukováno v České republice 101,4 miliard tun oxidu uhličitého. [37] Rozdíl v množství produkce metanu za rok 2016 a 2017 je téměř totožný a tak můžeme říci, že v roce 2016 bychom byli schopni ušetřit 2,2 % z celkové produkce oxidu uhličitého v České republice díky nulové bilanci CO₂.

4.5 Výroba tepla

Jak již bylo mnohokrát zmíněno, v České republice je většina bioplynových stanic koncepčně řešena na bázi s kogenerační jednotkou. Na tomto konceptu by nebylo nic špatného, kdyby se většina vyprodukovaného tepla využívala pro další účely a ne jen pro vlastní chod bioplynové stanice. To se bohužel neděje, a tak přicházíme o značné množství tepla, které bychom mohli dále zužít. V žádném z výročních zpráv Energetického regulačního úřadu nelze dohledat, kolik se v České republice vyprodukuje tepla za rok. Z toho důvodu si budeme muset vypočítat přibližný instalovaný tepelný výkon v bioplynových stanicích. Stále budu uvažovat referenční kogenerační jednotku Jenbacher gas engine typ J612 od firmy General Electric, kde výrobce udává tepelnou účinnost (n_{tep}) 40,3 %. Přibližný tepelný instalovaný výkon (P_{tep}) tedy vypočteme jako součin celkového výkonu potřebného pro výrobu elektrických 366 MW z bioplynu (Q_{BP}) a tepelné účinnosti (n_{tep}).

$$P_{\text{tep}} := Q_{\text{BP}} \cdot n_{\text{tep}} = 368.745 \cdot \text{MW} \quad (19)$$

Dále vypočteme celkové vyprodukované teplo (Q_{tep}) za rok 2017, kdy budeme uvažovat to, že tepelná energie se vyrábí pouze současně s elektrickou energií, a tak do výpočtu použijeme i koeficient využití instalovaného výkonu. Vyprodukované teplo za jeden rok získáme součinem přibližného tepelného instalovaného výkonu (P_{tep}), koeficientem využití instalovaného výkonu (k_p) a celkovým počtem hodin za jeden rok (t_{rok}).

$$Q_{\text{tep}} := P_{\text{tep}} \cdot t_{\text{rok}} \cdot k_p = 9571569.216 \cdot \text{GJ} \quad (20)$$

Pro představu, Brněnské teplárny a.s. vyprodukovali za období říjen 2016 až září 2017 4 946 946 GJ. Zde vidíme, že celkovým vyprodukovaným teplem všemi bioplynovými stanicemi v České republice bychom převýšili výrobu v teplárnách přibližně o 93 %. [38]

4.6 Hodnoty přepočteny na jednotkový výkon

Pro lepší představu produkce bioplynu na výrobu elektrické energie 1 MWh byla sestavena tabulka 6. Ve sloupci produkce CO₂ spaláním CH₄ je zahrnutá produkce CO₂ který vzniká chemickou reakcí při spalování CH₄, který je v bioplynu obsažen 55 %. Ve sloupci produkce CO₂ z bioplynu je zahrnut CO₂, které vzniká při tvorbě v bioplynu a je obsažen 45 % v bioplynu.

Tabulka 6 Jednotkový výkon

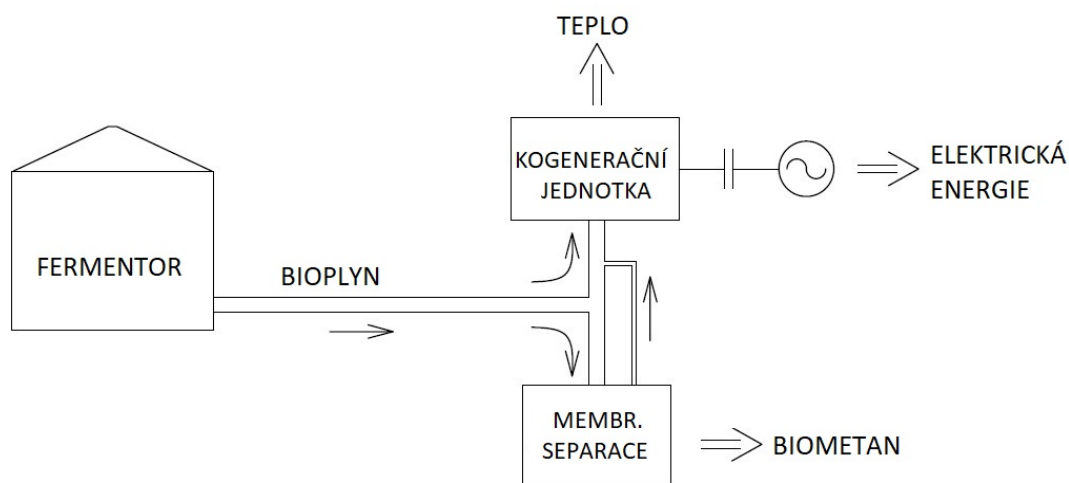
	množství bio- plynu [m³/MWh]	Množství CH₄ [m³/MWh]	Produkce CO₂ spálením CH₄ [kg/MWh]	Produkce CO₂ z bioplynu [kg/MWh]
Výroba 1 MWh el. energie	456,03	250,8	495,8	405,6

5 Doporučení vedoucí k reálnému zvýšení efektivity bioplynové stanice

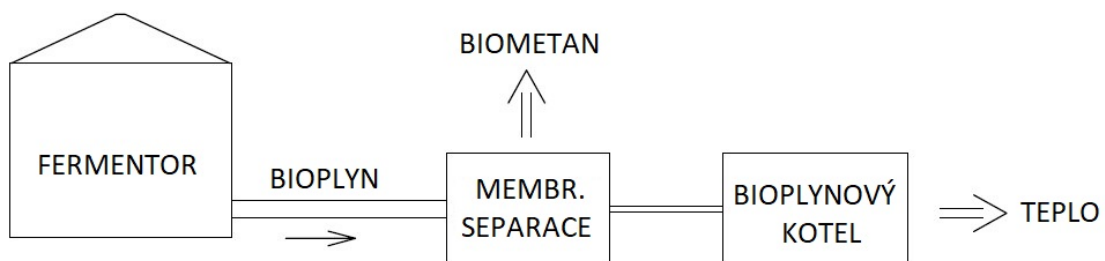
Vzhledem k počtu bioplynových stanic v České republice a zastavení garantovaných výkupních cen pro nově postavené bioplynové stanice se neočekává další masivní výstavba nových stanic. Současné stanice jsou většinou koncepčně řešeny s kogenerační jednotkou na bázi pístového spalovacího motoru, kdy se vyrobená elektrická energie odvádí do elektrické distribuční sítě a malá část vzniklého tepla se využívá pouze pro vlastní provoz stanice (ohřev fermentorů). Z toho důvodu je celkové využití energie z bioplynu relativně nízké. [31]

Ke zvýšení efektivity bioplynové stanice vede větší využívání vzniklého tepla. Toto teplo lze využít například k vytápění zemědělských skleníků (např. pro pěstování rajčat, paprik a jiné zeleniny) nebo stájí. Dalším možným využitím je napojení bioplynové stanice na vhodnou infrastrukturu rozvádějící teplo v zastavěném území. Toto je ale možné pouze tam, kde se tato infrastruktura nachází a samotná bioplynová stanice není ve větší vzdálenosti od zastavěných oblastí. Neposlední možností je dodávka tepla do určitých výrobních technologií, jako je například sušárna, paletizační linka a jiné výrobní procesy.

Při úvaze aktuální ceny silové elektřiny a opotřebení kogeneračních jednotek, které mají určitou životnost, si můžeme položit otázku, zda se do budoucna vyplatí provozovat bioplynové stanice pouze pro výrobu elektřiny. Jednou z možností jak rozšířit bioplynovou stanici je zařazení technologie na čištění bioplynu, kdy vzniklý biometan splňuje kvalitativní požadavky zemního plynu a tak je možné tento biometan vtlačet do rozvodné sítě zemního plynu nebo jej můžeme využít v dopravě pro pohon vozidel na CNG. Z kapitoly 3.2.3 jsme se dozvěděli, že nejekonomičtější technologií pro naše velikosti bioplynových stanic je membránová separace. Tuto membránovou separaci můžeme zařadit podle obrázku 12 paralelně s kogenerační jednotkou, kdy se produkuje elektřina, teplo a biometan. Další variantou je vyřazení kogenerační jednotky a zařazení pouze membránové separace a spalovací kotel na spalování bioplynu podle obrázku 13. Kdy se produkuje biometan a ze spalovacího kotle teplo, které je potřebné pro vlastní provoz bioplynové stanice.



Obrázek 12 Koncepce bioplynové stanice včetně membránové separace [31]



Obrázek 13 Koncepce bioplynové separace bez kogenerační jednotky [31]

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce je analýza potenciálu bioplynu v České republice. Většina bioplynových stanic je koncepčně řešena s kogenerační jednotkou převážně s hlavní produkcí elektrické energie. Toto je zapříčiněno státní podporou na výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Podpora spočívá v garantovaných výkupních cenách nebo tzv. zelených bonusů. V České republice za rok 2017 bylo 574 bioplynových stanic s celkovým instalovaným elektrickým výkonem 366 MW. Za rok 2017 bylo vyrobeno v kogeneračních jednotkách v bioplynových stanicích 2 639 GWh. Výroba elektrické energie z bioplynu se podílí 27 % na celkové výrobě elektřiny z obnovitelných zdrojů a 3 % na celkové výrobě elektrické energie v České republice. Potenciál celkového tepelného výkonu z kogeneračních jednotek je celkem 368 MW.

Jednou z možností, jak zvýšit efektivitu bioplynových stanic, je zařazení technologie čištění bioplynu. Zušlechtěním bioplynu získáme biometan, který splňuje kvalitativní požadavky na zemní plyn, a tak ho lze využívat místo zemního plynu. Většina bioplynových stanic v České republice je ve výkonovém rozmezí 400 – 1000 kWe. Tomuto výkonu odpovídá hodinová produkce biometanu do 100 m³/h. Pro tuto produkci odpovídá jako nejlepší technologie pro čištění bioplynu membránová separace a to z důvodu nejnižší počáteční investice a nižší nebo srovnatelné provozní náklady než ostatní technologie na čištění bioplynu.

Elektrická energie z bioplynových stanic patří mezi stálé dodavatele do distribuční sítě, kdy nedochází ke kolísání dodávky oproti jiným formám výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Koeficient využití instalovaného výkonu pro bioplynové stanice je 0,82. Potenciál plnění soustavy zemního plynu biometanem z bioplynových stanic je přibližně 7,5 %. Velký prostor pro využívání biometanu je v oblasti pohonu motorových vozidel na CNG, kdy produkce biometanu výrazně převyšuje roční spotřebu CNG na čerpacích stanicích v České republice za rok 2017. Spálením veškeré produkce biometanu lze dosáhnout značné úspory v produkci oxidu uhličitého do ovzduší díky nulové bilanci CO₂. Za rok 2016 bychom byli schopni ušetřit 2,2 % z celkové produkce oxidu uhličitého. Další nespornou výhodou biometanu oproti elektřině je skladovatelnost.

Bioplyn případně biometan má v dnešní době významné opodstatněním, díky kterému můžeme snižovat závislost na fosilních palivech. Snižování produkce oxidu uhličitého z fosilních paliv je v poslední době diskutované téma, díky kterému se bioplynu otevírají pomyslné vrátka pro větší zastoupení na trhu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Technologie bioplynových stanic. *Bioplynové stanice* [online]. Novotný, 2008 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/technologie-bps/>
- [2] Co je bioplyn?. *Česká bioplynová asociace* [online]. České Budějovice [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.czba.cz/bioplyn.html>
- [3] Vznik bioplynu. *Biotechnologické využití bioplynu* [online]. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/19.html>
- [4] SCHULZ, Heinz, Andreas KRIEG, Hans MITTERLEITNER a Barbara EDER. *Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady*. Ostrava: HEL, 2004, 167 s. ISBN 80-86167-21-6.
- [5] Tvorba bioplynu. *Schaumann* [online]. Volyně [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <http://bioplyn.schaumann.cz/vyroba/vznik-bioplynu/>
- [6] Průvodce výrobou a využitím bioplynu. *CZ Biom - české sdružení pro biomasu* [online]. Praha 6, 2009 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Pruvodce_vyrobou_vyuzitim_bioplynu_2.pdf
- [7] DOHÁNYOS, Michal. Jak zvýšit efektivnost bioplynové stanice?. *TZB-info: stavebnictví, úspory energií: technická zařízení budov* [online]. VŠCHT Praha, 2009 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/biomasa/5550-jak-zvysit-efektivnost-bioplynove-stanice>
- [8] Technologie bioplynové stanice. *AgroKrůt s.r.o., Bratčice* [online]. Bratčice: AgroKrůt s.r.o., Bratčice, 2016 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: http://agrokrut.cz/?page_id=114
- [9] KÁRA, Jaroslav. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. Praha: VÚZT, 2007. ISBN 978-80-86884-28-8.
- [10] Bioplyn. *CZ Biom - české sdružení pro biomasu* [online]. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/bioplyn.pdf>
- [11] PASTOREK, Zdeněk. *Využití biomasy k energetickým účelům*. 2. vydání. Praha: Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, 1986. Vědeckotechnický rozvoj v zemědělství.
- [12] JELÍNEK, Antonín. *Hospodaření a manipulace s odpady ze zemědělství a venkovských sídel*. Praha: Agrospoj, 2001. Semafor. ISBN 80-239-4234-4.
- [13] Bioplynové stanice. In: *Power-energo* [online]. 2019 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <http://www.power-energo.cz/produkty/bioplynove-stanice.html>

- [14] BECHNÍK, Bronislav. Výkupní ceny elektřiny z bioplynu ve vybraných zemích EU. *TZB-info: stavebnictví, úspory energií: technická zařízení budov* [online]. 2011 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/biomasa/7815-vykupni-ceny-elektriny-z-bioplynu-ve-vybranych-zemich-eu>
- [15] Zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů. *Energetický regulační úřad* [online]. Praha, 2005 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/475627/ZOZE_1_1_2011_vcetne_402_10.pdf/29caff76-ee1a-4f46-9488-5df178614ef0
- [16] Zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. *Zákony pro lidi* [online]. Praha, 2012 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-165>
- [17] STUPAVSKÝ, Vladimír. Senát posvětil ukončení podpory obnovitelných zdrojů. *TZB-info: stavebnictví, úspory energií: technická zařízení budov* [online]. 2013 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-obnovitelna-energie/10336-senat-posvetil-ukonceni-podpory-obnovitelnych-zdroju>
- [18] Česká republika dala zelenou investicím do CNG, vláda zachová daňové zvýhodnění. *Hybrid* [online]. 2018 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/ceska-republika-dala-zelenou-investicim-do-cng-vlada-zachova-danove-zvyhodneni>
- [19] Bioplyn - kogenerační jednotky TEDOM. *TEDOM* [online]. [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.tedom.com/cs/kogeneracni-jednotky/bioplyn/>
- [20] Bioplynka. In: *Geocaching* [online]. [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: https://s3.amazonaws.com/gs-geo-images/c1cfd3e9-6059-4142-aa4e-b1a851999532_1.jpg
- [21] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. *Roční zpráva o provozu ES ČR 2017*. Praha: Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ.
- [22] PETERSSON, Anneli a Arthur WELLINGE. Biogas upgrading technologies – developments and innovations. *IEA Bioenergy* [online]. [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: http://task37.ieabioenergy.com/files/daten-redaktion/download/publi-task37/upgrading_rz_low_final.pdf
- [23] *Jakost a zkoušení plynných paliv s vysokým obsahem metanu: Quality and testing of gaseous fuels with high methane content : TPG G 902 02 : technická pravidla schválena dne 15.12.2005*. Říčany u Prahy: GAS, c2006. Technická pravidla. ISBN 80-732-8083-3.
- [24] ČSN 65 6514. *Motorová paliva - Bioplyn pro zážehové motory - Technické požadavky a metody zkoušení*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [25] MEMBRAIN. Membránová separace bioplynu. *MemBrain* [online]. [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.membrain.cz/membranova-separace-bioplynu.html>

- [26] IZÁK, Pavel. *Separace bioplynu pomocí membránových separačních procesů, přehled*. Praha 6: Ústav chemických procesů AV ČR, 2014, , 51-54.
- [27] BEK, David. Kryogenní separace těkavých organických látek z proudu odpadních plynů. *CHEMAGAZÍN*. **2013**(6), 8-9.
- [28] VRBOVÁ, Veronika, Karel CIAHOTNÝ a Alice PROCHÁZKOVÁ. Odstraňování CO₂ z bioplynu. *Paliva*. 2010, **2011**(3), 37-41.
- [29] RYCKEBOSCH, E., M. DROUILLON a H. VERVAEREN. *Techniques for transformation of biogas to biomethane Biomass and Bioenergy*. **2011**(35), 1633-1645.
- [30] ELECTRIGAZ. *Biogas upgrading and grid injection in the Fraser Valley, British Columbia*. 2008, , 1-152. Dostupné také z: <http://www.catalystpower.ca/pdf/fvf.pdf>
- [31] MILČÁK, Pavel, Marek MALÁŠ, Martin LISÝ a Jiří POSPÍŠIL. *The membrane separation at real conditions of a biogas station*. In TOP 2017 - PROCEEDINGS OF ABSTRACTS. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave vo vydavateľstve SPEKTRUM STU, 2017, 42-42. ISBN 978-80-227-4731-8.
- [32] TUV (VIENNA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY). *Biogas to Biomethane Technology Review* [online]. 2012 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: http://bio.methan.at/sites/default/files/BiogasUpgradingTechnologyReview_ENGLISH.pdf
- [33] MIČKA, Jan. Škoda Octavia G-Tec – Poslední sbohem. *Auto.cz* [online]. 2017 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/skoda-octavia-g-tec-posledni-sbohem-109641>
- [34] STRAKA, František a Michal DOHÁNYOS. *Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]*. 2., rozš. a dopl. vyd. Praha [i.e. Říčany u Prahy]: GAS, 2006. ISBN 80-732-8090-6.
- [35] OCTAVIA COMBI Style 1,4 TSI 110 kW 6-stup. mech. *Auto na operák* [online]. 2017 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: https://www.autonaoperak.cz/sites/default/files/perm/car-pdf/octaviacombistyle14tsi110kw6-stupmech_1.pdf
- [36] PŘÍHODA, Jan. Energeticky využitelná biomasa v lesním hospodářství. *Lesnická práce*. **86** (2007)(01/07). Dostupné také z: <http://www.lesprace.cz/casopis-lesnicka-prace-archiv/rocnik-86-2007/lesnicka-prace-c-01-07/energeticky-vyuzitelna-biomasa-v-lesnim-hospodarstvi>
- [37] Statistics. *International Energy Agency* [online]. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://www.iea.org/statistics/?country=CZECH&year=2016&category=Emissions&indicator=CO2ByPop&mode=chart&dataTable=INDICATOR>
- [38] TEPLÁRNY BRNO. *Výroční zpráva za období říjen 2016 až září 2017 ve zkráceném rozsahu*. Brno, 2018.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
E_{CNG}	Emise CO ₂ vyprodukované spálením 1kg metanu	$\frac{kg}{kg}$
E_{CNG1}	Emise CO ₂ vyprodukované za 1km jízdy na CNG	$\frac{kg}{km}$
E_{E5}	Emise CO ₂ vyprodukované spálením 1 l naturalu 95	$\frac{kg}{l}$
E_{E5_1}	Emise CO ₂ vyprodukované za 1 km jízdy na Natural 95	$\frac{kg}{km}$
E_{rel}	Teoretická výroba elektrické energie za 1 rok	GWh
E_{skut}	Skutečná výroba elektrické energie	GWh
E_{VYR}	Emise CO ₂ udávané výrobcem při spotřebě 5,3 l/100km	$\frac{kg}{km}$
H_{BP}	Výhřevnost bioplynu	$\frac{MJ}{m^3}$
H_{CH4}	Výhřevnost metanu	$\frac{MJ}{m^3}$
k_p	Koeficient využití instalovaného výkonu	—
M_{CO2}	Molární hmotnost oxidu uhličitého	$\frac{kg}{kmol}$
m_{CH4}	Hmotnost metanu vyprodukovaného v ČR za 1 rok	$tuna$
M_{CH4}	Molární hmotnost metanu	$\frac{kg}{kmol}$
n_{el}	Elektrická účinnost	—
n_{tep}	Tepelná účinnost	—
p	Možný podíl produkce CH ₄ na celk. spotřebu zem. plynu	%
p_{CNG}	Možný podíl CH ₄ na plnění čerp. stanic pro CNG vozidla	%
P_{el}	Elektrický výkon	MW
P_{tep}	Tepelný výkon	MW
Q_{BP}	Celkový výkon	MW
Q_{tep}	Vyprodukované teplo za rok 2017	GJ
S_{CNG}	Celková spotřeba CNG v roce 2017	m^3
SP_{CNG}	Průměrná spotřeba CNG na 1 kilometr jízdy	$\frac{kg}{100 km}$
SP_{E5}	Reálná spotřeba Naturalu 95	$\frac{l}{100 km}$

SP_{VYR}	Spotřeba udávaná výrobcem	$\frac{l}{100\ km}$
S_{spot}	Celková spotřeba zemního plynu za rok 2017	m^3
t_{rok}	Čas kalendářního roku v hodinách	h
U	Celkové ušetřené CO_2	$tuna$
U_{fos}	Možné množství ušetřených CO_2 z fosil. paliva za 1 rok	$tuna$
U_{sep}	Množství separovaného CO_2 při zušlechťování	$tuna$
V_{BP_t}	Objem bioplynu vyproduk. za 1 sek. - teoreticky	$\frac{m^3}{s}$
V_{CH4}	Objemový podíl metanu v bioplynu	—
V_{CH4_R}	Skutečné množství vyproduk. metanu za rok 2017	m^3
V_{CH4_t}	Objem metanu vyproduk. za 1 sek. - teoreticky	$\frac{m^3}{s}$
ρ_{CH4}	Hustota metanu	$\frac{kg}{m^3}$

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Fáze procesu vyhnívání [4]	13
Obrázek 2: Výnos bioplynu z tuny biomasy [8]	17
Obrázek 3 Výhřevnost bioplynu v závislosti na koncentraci metanu [11]	18
Obrázek 4 Typické bioplynové technologie [4]	20
Obrázek 5 Bioplynový fermentor na kontinuální fermentaci tuhého hnoje [4]	23
Obrázek 6 Schéma bioplynové stanice [13]	24
Obrázek 7 Kogenerační jednotka se spalovací motorem [20]	26
Obrázek 8 Schéma membránové separace [25]	29
Obrázek 9 Schéma vymrazovací jednotky DuoCondex [27]	29
Obrázek 10 Uspořádání technologie PSA [28]	30
Obrázek 11 Schéma jednostupňové vodní vypírky [30]	31
Obrázek 12 Koncepce bioplynové stanice včetně membránové separace [31]	39
Obrázek 13 Koncepce bioplynové separace bez kogenerační jednotky [31]	40

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Složení bioplynu [10]	17
Tabulka 2 základní vlastnosti bioplynu a metanu [12].....	19
Tabulka 3 Požadavky na kvalitu zemního plynu [23]	27
Tabulka 4 Požadavky na kvalitu plynu [24].....	28
Tabulka 5 Porovnání čištění bioplynu [32]	32
Tabulka 6 Jednotkový výkon.....	38